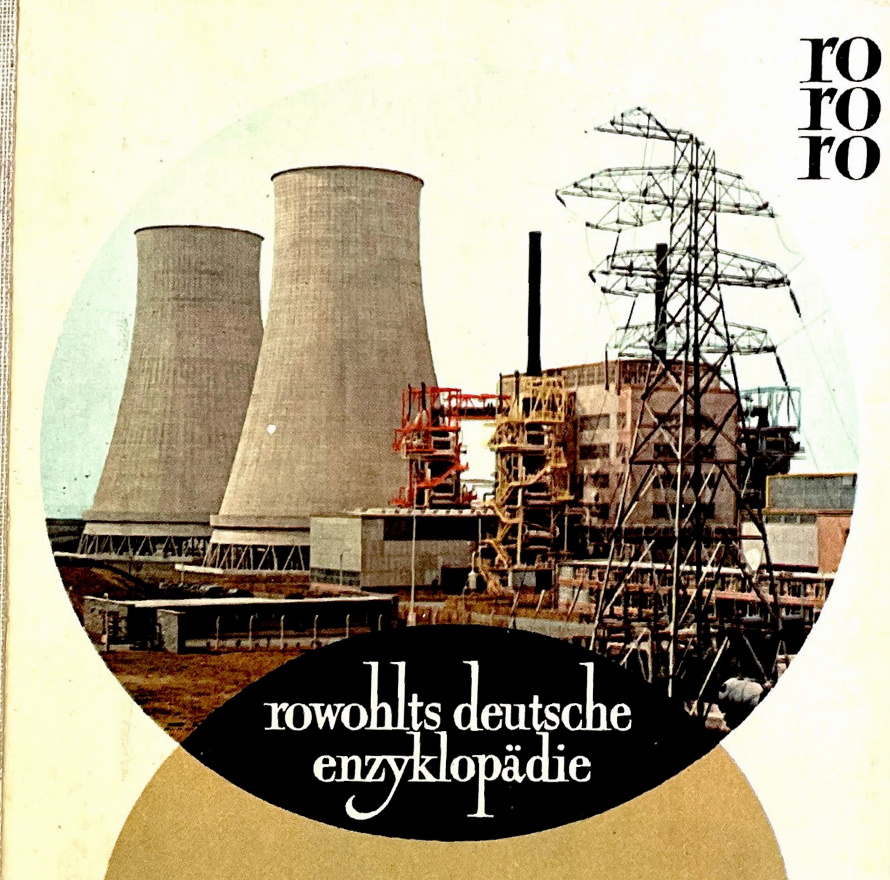
rororo

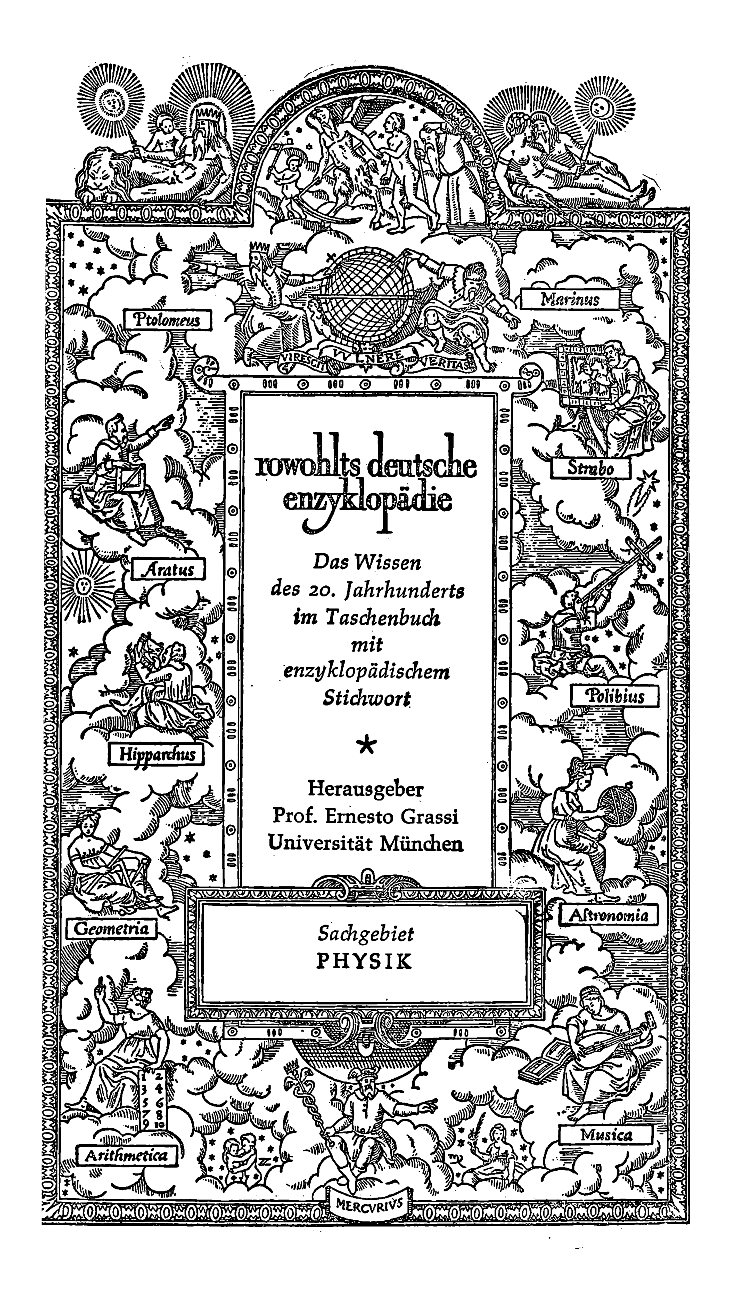


rowohlts deutsche enzyklopädie

Bagge · Diebner · Jay

Von der Uranspaltung bis Calder Hall





VIRESCIT VVLNERE VERITAS
Ptolomeus
Marinus
Strabo
Aratus
Polibius
Hipparchus
Astronomia
Geometria
Musica
Arithmetica
MERCVRIVS
rowohlts deutsche enzyklopädie
Das Wissen
des 20. Jahrhunderts
im Taschenbuch
mit
enzyklopädischem
Stichwort
*
Herausgeber
Prof. Ernesto Grassi
Universität München
Sachgebiet
PHYSIK

ERICH BAGGE · KURT DIEBNER
KENNETH JAY

Von der Uranspaltung bis Calder Hall



ROWOHLT HAMBURG

Veröffentlicht im Mai 1957
Der Beitrag von E. Bagge und K. Diebner erscheint erstmals in ‹rowohlts deutscher enzyklopädie›

Der Beitrag von K. Jay erscheint mit freundlicher Genehmigung der United Kingdom Atomic Energy Authority, London in ‹rowohlts deutscher enzyklopädie› erstmals in deutscher Sprache

Printed in Germany

INHALTSVERZEICHNIS

ENZYKLOPÄDISCHES STICHWORT 151

(Zur vorherigen Lektüre empfohlene Einführung in den Problemkreis, dem das Thema entstammt)

VORBEMERKUNG 6

ZUR ENTWICKLUNG DER KERNENERGIE-VERWERTUNG IN DEUTSCHLAND
Von Erich Bagge und Kurt Diebner

1. EINLEITUNG 9
2. VON 1918 BIS ZUR URANSPALTUNG 9
3. FORTSCHRITT UND HEMMUNG IM ZEICHEN DES KRIEGES 19
4. AUS DEM INTERNIERUNGS-TAGEBUCH 42
5. VON 1946 BIS 1955 72
6. DIE GRÜNDUNG DER STUDIENGESELLSCHAFT FÜR KERNENERGIEVERWERTUNG IN SCHIFFBAU UND SCHIFFAHRT IN HAMBURG 73
7. ATOMMINISTERIUM — GRÜNDUNG DER KAPITALGESELLSCHAFT 79

CALDER HALL
Von Kenneth Jay

1. KRAFT AUS DEM ATOM: ERSTE ERWÄGUNGEN 83
2. DER ENTWURF WIRD GEWÄHLT: ‹PIPPA› 93
3. ‹PIPPA› WIRD GEBAUT 112
4. REAKTOR NR. 1 TRITT IN TÄTIGKEIT 130
5. ANTWORTEN AUF FRAGEN DER TECHNIKER: DIE ROLLE DER FORSCHUNG 135
6. KERNKRAFT: DIE ZUKUNFT 143

ÜBER DIE VERFASSER

LITERATURHINWEISE

PERSONEN- UND SACHREGISTER

Vorbemerkung

Im Herbst 1956 wurde mit der Inbetriebsetzung des englischen Atomkraftwerkes Calder Hall die Nutzbarmachung der Uranspaltung im Dienste der Friedenswirtschaft zum ersten Mal in Europa Wirklichkeit. Es stellten sich damit dem deutschen Publikum zwei Fragen: Wieso hat man in Deutschland — wo unter Führung von Hahn und Heisenberg die atomphysikalische Forschung im späteren Max-Planck-Institut so wesentlich gefördert wurde — dieses Ziel noch nicht erreicht? und ferner: Wie verlief eigentlich die Geschichte dieser Forschung in Deutschland?

Bis heute besitzen wir darüber keinen fachmännisch autorisierten Bericht. Wir haben uns daher entschlossen, an zwei Wissenschaftler heranzutreten, die bereits während des Zweiten Weltkrieges an entscheidender Stelle in der deutschen Atomwissenschaft mitgewirkt haben: Sie lieferten uns die hier vorgelegte Darstellung der historischen Entwicklung der Kernphysik in Deutschland. Mit dieser Veröffentlichung hoffen wir eine fühlbare Lücke zu schließen und so dem Wunsch der deutschen Allgemeinheit entgegenzukommen.

Professor Bagge und Dr. Diebner wurden bei Kriegsende mit Otto Hahn, Werner Heisenberg, Max von Laue, Carl Friedrich v. Weizsäcker und anderen führenden deutschen Physikern von den Engländern interniert. Aus dieser nahezu einjährigen Internierungszeit in England stammen auch die bisher unveröffentlichten Tagebuchaufzeichnungen, die wir hier ebenfalls wiedergeben. Sie sind interessant als menschliches Dokument der schweren deutschen Nachkriegsjahre und geben in ihrer Nüchternheit, ja geradezu Alltäglichkeit Erfahrungen wieder, wie viele Deutsche, ohne Ansehen von Person und Rang, sie in dieser Zeit durchmachen mußten.

E. Grassi

ZUR ENTWICKLUNG DER KERNENERGIE-VERWERTUNG IN DEUTSCHLAND

Von Erich Bagge und Kurt Diebner

1. Einleitung

Den deutschen Wissenschaftler, der aktiv an der Entwicklung der Atomphysik in den letzten 20 Jahren beteiligt war, muß es mit einer gewissen Bitterkeit erfüllen, daß, 18 Jahre nach Entdeckung der Uranspaltung durch Otto Hahn und Fritz Strassmann, die Verwertung der in den Atomkernen schlummernden Energievorräte ausgerechnet in Deutschland noch immer nicht realisiert werden konnte. Während in den Vereinigten Staaten, in England, Frankreich und Rußland gewaltige Atomkraftwerke im Bau und zum Teil schon in Betrieb sind, war Deutschland infolge der Behinderungen durch den Zweiten Weltkrieg und die Auflagen der Besatzungsmächte nach Kriegsende bis zur Übernahme der Souveränität durch die Bundesrepublik im Mai 1955 außerstand gesetzt, die praktischen Folgerungen aus einer umwälzenden Entdeckung zu ziehen, an der gerade deutsche Forscher einen so entscheidenden Anteil hatten.

Die Frage ist berechtigt, ob die Wirkungen von Krieg und Nachkriegszeit allein als Ursachen dafür angesehen werden können, daß Deutschland in der praktischen Ausnutzung der Kernenergie so zurückblieb und wir bisher noch keinen energiespendenden Kernreaktor besitzen. Es wäre nicht gerechtfertigt, wollte man die Ursachen für diese bedauernswerte Tatsache nur auf Bombenkrieg und Verbote der Alliierten zurückführen. Die Ursachen liegen tiefer und sind zumindest zum Teil auch bei uns selbst zu suchen.

2. Von 1918 bis zur Uranspaltung

Die Lage der Kernphysik in Deutschland in den dreißiger Jahren

Die glänzenden Erfolge, die die Physik um die Mitte und das Ende der zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts bei Aufbau und Weiterentwicklung der Planckschen Quantentheorie erzielen konnte, gingen letztlich darauf zurück, daß vornehmlich die theoretischen Physiker aus der Zeit vor dem Ersten Weltkrieg ihre Lehrstühle an den deutschen Universitäten auch nach dem Zusammenbruch von 1918 behielten. So konnte eine junge heranwachsende Physikergeneration unter Lehrern vom Range eines Max Planck, Albert Einstein, Max von Laue, Arnold Sommerfeld und Max Born trotz ungünstiger äußerer Lebensbedingungen im Geiste der Tradition einer hochentwickelten theoretischen Physik der Vorkriegszeit herangebildet werden. Die Fortschritte aus dem Ende der zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts sind damit zu einem guten Teil als Früchte der Vorarbeit zu werten, die noch vor Beginn des Ersten Weltkrieges geleistet wurde. Es war dabei ein besonders glücklicher Umstand, daß sehr bald nach Beendigung des Ersten Weltkrieges die deutschen Physiker wieder mit den ihnen von früher her bekannten ausländischen Universitätskollegen Verbindung bekamen und in einem engen Erfahrungsaustausch auch über die neuesten Entwicklungen in ande-

ren Ländern unterrichtet wurden. Der Pflege der Physik in Deutschland, besonders auf theoretischem Gebiet, stand in der Folgezeit auch deshalb kein weiteres Hindernis im Wege, weil für die Beschäftigung mit ihr nur geeignete Räumlichkeiten, Bleistift und Papier erforderlich waren. Die mathematisch-physikalisch geschulten Köpfe gab es jedenfalls. So konnte die *theoretische Physik* mit jungen Kräften wie Werner Heisenberg, Friedrich Hund, Wolfgang Pauli, Erwin Schrödinger u. a. die alte Tradition übernehmen und erfolgreich weitertragen.

Ganz anders war die Lage in der *experimentellen Physik* nach dem Ersten Weltkrieg. Träger der experimentellen Forschungsarbeit in Deutschland waren im wesentlichen die physikalischen Institute der Universitäten, die technischen Hochschulen und bis zu einem gewissen Grade die freien Forschungsinstitute der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und der Industrie. Während aber noch bis zu Beginn des Ersten Weltkrieges im Jahr 1914 diese Institute durch hervorragende Experimentalphysiker geleitet und mit guten Forschungseinrichtungen ausgestattet waren, die nach dem damaligen Stande der Wissenschaft als modern zu gelten hatten, litt der weitere Ausbau dieser Institute in der Zeit nach dem Ersten Weltkrieg infolge von Inflation und Wirtschaftskrisen und der in Deutschland ständig zunehmenden Arbeitslosigkeit am Fehlen ausreichender Mittel zu ihrer Modernisierung. Damals, in den zwanziger Jahren, verfügte Deutschland auch auf dem Gebiete der Experimentalphysik über viele hervorragende Fachleute wie Bothe, Geiger, Gerlach, Franck, Hertz, Hoffmann, Kossel, Stern, Pohl, Ramsauer u. a. Und da man zu jener Zeit, verglichen mit heute, mit verhältnismäßig einfachen experimentellen Hilfsmitteln Grundlagenforschung betreiben konnte, wirkte sich der Mangel an finanziellen Mitteln auf die Entwicklung dieser Institute zunächst nicht unbedingt behindernd aus. Ja, es waren sogar an verschiedenen Stellen schon Ansätze für den Aufbau moderner Einrichtungen zu erkennen, als die Wirtschaftskrise von 1929 bis 1931 und der weitere Anstieg der Arbeitslosigkeit in Deutschland zu einer merklichen Lähmung der wissenschaftlichen Arbeit in den Experimental-Instituten führten.

Die Jahre nach 1933 brachten zwar insofern eine Wendung, als mit der Einführung der allgemeinen Wehrpflicht und der Vergrößerung der deutschen Wehrmacht in steigendem Maße Mittel für Forschungszwecke ausgegeben wurden und diese z. T. auch für die Modernisierung von physikalischen Instituten an den Hochschulen zur Verfügung standen. Es zeigte sich aber, daß diese Mittel nur für eine sehr einseitig ausgerichtete Zweckforschung verwendet werden durften, bei der die Frage nach dem alsbald zu erreichenden Ziel im Vordergrund des Interesses stand. Die physikalische Grundlagenforschung wurde zum Stiefkind der wissenschaftlichen Förderungsstellen, insbesondere des Kultusministeriums in Berlin. Erschwerend kam noch hinzu, daß neben einer Reihe hervorragender theoretischer Physiker wie Max Born, Albert Einstein, Erwin Schrödinger auch mehrere ganz ausgezeichnete Experimentalphysiker

wie JAMES FRANCK, RICHARD LADENBURG, LISE MEITNER und eine Gruppe jüngerer Physiker aus Deutschland emigrierten.

Während so trotz einer gewissen Förderung der Zweckforschung eine allgemeine Stagnation in der experimentellen Grundlagenforschung eintrat, bahnten sich im Ausland, so besonders unter Führung des *Cavendish Laboratory* in England und einer Gruppe von Physikern aus dem Kreis um LAWRENCE in Berkley, USA, in der immer stärker in den Mittelpunkt rückenden Kernphysik neuartige Entwicklungen an, die für die nächste Zukunft von entscheidender Bedeutung werden sollten. So wurden in England Hochspannungsanlagen für künstliche Kernumwandlungen aufgebaut. In Kalifornien entwickelte LAWRENCE in seinem Zyklotron ein neuartiges Gerät, das die Beschleunigung von geladenen Kerngeschossen auf hohe Energien ermöglichte.

Die allgemeine Geldknappheit in den Forschungsinstituten und die Zurückhaltung der zuständigen Stellen in ihrer Unterstützungsbereitschaft für größere Forschungsvorhaben auf dem Gebiete der Kernphysik brachten es mit sich, daß in Deutschland Einrichtungen ähnlich denen, wie sie in England oder in den USA entstanden, nicht geschaffen werden konnten. Nur unter BOTHE in Heidelberg und DEBYE in Berlin wurden an den Kaiser-Wilhelm-Instituten kleinere Hochspannungsanlagen in Betrieb genommen, die jedoch für eine Inangriffnahme von großzügigen Grundlagenuntersuchungen auf dem Gesamtbereich der experimentellen Kernphysik bei weitem nicht ausreichten.

In diese Zeit fiel 1938 die Entdeckung OTTO HAHNS und FRITZ STRASSMANNS, die mit rein chemischen Methoden und verhältnismäßig bescheidenen experimentellen Hilfsmitteln die Möglichkeit der Kernspaltung durch Neutronen feststellten. Wenn auch dieses bedeutsame Forschungsergebnis dank der gründlichen Arbeit zweier ausgezeichneter Wissenschaftler in Deutschland aufgefunden wurde, so waren wir so gut wie überhaupt nicht darauf vorbereitet, die Aufgaben zu übernehmen, die sich aus der Verwertung dieser Ereignisse praktisch ergeben mußten.

Forschungsstätten

a) Die patriarchalische Institutsform

Der Mangel an Mitteln und Einsicht war aber nur eine der äußeren Ursachen für die Benachteiligung der Grundlagenforschung in den dreißiger Jahren. Tatsächlich kommt noch eine Reihe von weiteren Schwierigkeiten hinzu, die noch heute als ein echtes Hemmnis für die Forschungsarbeit an den deutschen Hochschulen betrachtet werden müssen. Sie haben ihre Wurzeln letztlich in dem althergebrachten Aufbau der Forschungsinstitute. Diese Organisationsform verdankt ihren Ursprung den längst nicht mehr zeitgemäßen Erfordernissen um die Mitte des vorigen Jahrhunderts.

Ein solches Institut besitzt als Leiter einen Direktor, der zugleich die wissenschaftliche und die verwaltungsmäßige Führung innehat. In dieser Eigenschaft hat er nicht nur die Forschungsaufgaben festzulegen und zu betreuen, seine Mitarbeiter anzuleiten und zu beraten, sondern er hat auch alle Beschaffungs- und Personalfragen zu bearbeiten und sich mit der Einrichtung der Werkstätten zu befassen. So kommt es, daß ein Wissenschaftler nach der Übernahme eines Instituts bis an das Ende seines Lebens mit Aufgaben belastet wird, die seinem ursprünglichen Tätigkeitsfeld wesensfremd sind und ihn von seiner eigentlichen Arbeit abhalten. Er kommt nicht mehr in ausreichendem Maße dazu, wissenschaftliche Arbeiten zu lesen, sich mit seinen Mitarbeitern zu unterhalten, um die experimentellen Untersuchungen voranzutreiben, oder selbst zu experimentieren. In Hochschulkreisen kursiert das geflügelte Wort: ‹Wenn man einen guten Forscher an seiner wissenschaftlichen Produktivität hindern will, gebe man ihm die Leitung eines Instituts.› Genau dies ist die schwache Stelle in der Organisationsform der deutschen Forschungsinstitute. In den Jahren hoher wissenschaftlicher Leistungsfähigkeit hemmt sie die Wissenschaftler und macht sie zu Verwaltungsdirektoren. So geleitete Hochschulinstitute mochten im 19. Jahrhundert und im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts noch möglich sein. Die Einrichtungen auf dem Gebiet der physikalischen Grundlagenforschung bestanden bis zum Aufkommen der Kernphysik in verhältnismäßig billigen und räumlich kleinen Apparaturen, bei denen der Aufwand, verglichen mit den Gesamtkosten eines Instituts, außerordentlich klein war. Gute Röntgenanlagen für Strukturuntersuchungen an Kristallen waren z. B. mit Mitteln zwischen 20 000 und 100 000 RM zu beschaffen, Apparaturen für spektroskopische Untersuchungen erforderten noch weniger. Ein einzelner konnte sie bedienen und damit wertvolle Ergebnisse gewinnen. Selbst der Institutsleiter konnte in seinem Labor Meßgeräte aufbauen und Untersuchungen allein durchführen, wenn er dies wollte. Die Zahl der zu betreuenden Studenten, die amtlichen Verpflichtungen, die Sitzungen der Kommissionen und Fachausschüsse sind erheblich gestiegen. Und nicht zuletzt sind in der modernen Physik – die Kernphysik steht an erster Stelle – die Einrichtungen zur Durchführung von Forschungsarbeiten technisch so kompliziert und umfangreich, räumlich so groß und anschaffungsmäßig so kostspielig geworden, daß sie von einem einzelnen gar nicht mehr aufgebaut werden können, ja, daß ihre technische Betreuung sogar über die Leistungsfähigkeit einer normalen Institutswerkstatt bei weitem hinausgeht. Der Direktor eines physikalischen Instituts, der solche Apparaturen aufbauen will, muß sowohl in der Form der Zusammenarbeit vieler Wissenschaftler und Techniker an einer einzigen Aufgabe nach neuen Wegen suchen, als auch bemüht sein, Mittel in einem Umfange zu beschaffen, die ungleich viel höher sind als bisher. Werden ihm diese Möglichkeiten nicht eröffnet, muß er resignieren und eine Verlagerung seiner Forschungsrichtung anstreben. Er wird auf Forschungsaufgaben abgedrängt,

die nur noch physikalische Randfragen mit Erfolg zu bearbeiten gestatten. So muß man die Lage der deutschen Hochschulinstitute sehen, als im Jahre 1939 der Zweite Weltkrieg begann und an viele Institute in Deutschland die Aufgabe herantrat, an der Nutzbarmachung der Kernenergie mitzuwirken.

Die, man könnte sagen ‹patriarchalische› Verfassung der deutschen Forschungsinstitute für Physik an den Universitäten und technischen Hochschulen hat noch einen weiteren Nachteil. Die Leiter der Institute werden im allgemeinen in einem Alter zwischen 35 und 45 Jahren bestellt. Sie befinden sich zu dieser Zeit mitten in ihrer besten physikalischen Produktivität. Durch die ihnen übertragene organisatorische und Verwaltungs-Tätigkeit fällt zwangsläufig ihre wissenschaftliche Leistungsfähigkeit im Laufe der nächsten Jahre merklich ab, wie die Statistik der veröffentlichten wissenschaftlichen Arbeiten zeigt. Dazu trägt noch der Umstand bei, daß die Institutsdirektoren an den Universitäten und Hochschulen damit belastet werden, die zeitraubenden Anfängervorlesungen und Praktika nicht nur für Physiker, sondern auch für alle anderen Naturwissenschaftler und Mediziner zu übernehmen. So bringen diese im allgemeinen nicht mehr die Zeit auf, Spezialvorlesungen zu halten, die in den Brennpunkten des wissenschaftlichen Interesses stehen und die die Studenten an die modernen Forschungsprobleme heranführen.

Zur Beseitigung dieses Übelstandes wird man die Leiter dieser Institute von den Verwaltungs- und Beschaffungsaufgaben und zu einem guten Teil auch von der Belastung durch Anfängervorlesungen befreien müssen, die sie von der Erfüllung ihrer Forschungsaufgabe abhalten.

b) Zentralisierung und Teamwork

Auf dem Gebiet der angewandten Forschung hatte man diese Mängel der deutschen Institute an den Universitäten und Hochschulen schon früher erkannt und daraus die notwendigen Konsequenzen gezogen. Im Falle der Luftfahrt wurden z. B. Forschungseinrichtungen geschaffen, die den modernen Erfordernissen gerecht werden konnten.

Als ein Beispiel dieser Art möge die Aerodynamische Versuchsanstalt in Göttingen genannt werden, wo in kurzer Zeit eine Reihe von einzelnen Instituten entstand, die sich entscheidend von den früheren Hochschulinstituten unterschieden. Als eines der wesentlichen Kennzeichen dieser positiven Lösung ist anzusehen, daß keines dieser Institute eine größere Werkstatt besaß, sondern daß für die Gesamtheit aller eine große Zentralwerkstatt eingerichtet wurde, die viel großzügiger und umfangreicher ausgestattet werden konnte, als dies für ein einzelnes Institut möglich war. Auf diese Weise wurden den Institutsdirektoren auch Verwaltungsaufgaben abgenommen. So kam genau die Organisationsform zustande, die für

die Universitäten und Hochschulen hätte beispielgebend werden können. Tatsächlich ist es aber nie dazu gekommen. Ähnliches gilt für die Einrichtung der Institutsbibliotheken. Bis heute haben praktisch alle deutschen Hochschulinstitute ihren veralteten Aufbau beibehalten und sind dadurch in ihrer Leistungsfähigkeit außerordentlich gehemmt. Ja, man muß es als einen echten Mangel empfinden, wenn an einer Universität in Deutschland 3 oder 4 physikalische Institute mit nur unwesentlich abweichender Zweckbestimmung existieren, von denen jedes eine eigene Verwaltung, eine eigene Werkstatt, eine eigene Bibliothek, eine eigene Organisation für Beschaffungsfragen u. a. besitzt, wobei alle diese Einrichtungen wegen der Begrenztheit der zur Verfügung stehenden Mittel notwendigerweise nur in verhältnismäßig bescheidenem Rahmen aufgebaut sein können. Die Schaffung großzügiger Hilfsmittel ist unter diesen Umständen erschwert, wenn nicht unmöglich. Die Institutsdirektoren werden nach wie vor mit ihnen wesensfremden Aufgaben belastet und können sich selbst nur wenig um die Ausbildung der Studenten und um die Durchführung der wissenschaftlichen Arbeiten kümmern. Wenn hier nicht ganz radikale Änderungen eintreten, wird dieses veraltete System die Fortschrittlichkeit der deutschen Forschungsstätten weiterhin ernsthaft behindern. Es soll nicht verschwiegen werden, daß die Schuld für dieses Festhalten an einer veralteten Organisationsform zu einem guten Teil mit bei den deutschen Hochschulen selbst zu suchen ist. Die alte Form der Institutsorganisation verleiht den Leitern die Vorstellung vollkommener Selbständigkeit und Freiheit, einer Scheinfreiheit freilich, weil sie gerade durch diese Organisationsform bis zu einem gewissen Grade von der Bearbeitung moderner Forschungsprobleme und Vorhaben ferngehalten werden. Hier liegt eine ernste Aufgabe vor, im Aufbau der deutschen Forschungseinrichtungen an den Universitäten und Hochschulen sowie an den freien wissenschaftlichen Instituten organisatorische Wandlungen zu schaffen.

Wir sollten an dieser Stelle einen Blick auf die Organisation angelsächsischer, insbesondere amerikanischer Universitäten werfen. Dort hat man in den dreißiger Jahren die Zeichen der Zeit besser verstanden und schon rechtzeitig damit angefangen, Änderungen vorzunehmen, die sich für die wissenschaftliche Produktion als außerordentlich fruchtbringend erwiesen haben. Wir denken hier besonders an die Einrichtung von Zentralwerkstätten an einer Reihe von amerikanischen Universitäten und weiterhin daran, daß die wissenschaftlichen Leiter von Forschungsinstituten in den USA im allgemeinen mit den Beschaffungsfragen finanzieller und auch sachlicher Art heute kaum noch belastet werden, weil hierfür eigene Verwaltungsleiter vorgesehen sind.

Man muß in diesem Zusammenhang noch einen Umstand erwähnen, der für die wissenschaftliche Produktivität der Zukunft von größter Bedeutung sein wird. Die Durchführung von Forschungsaufgaben erfordert bei der heutigen Lage der Grundlagenphysik im allgemeinen den Einsatz von umfangreichen hochkomplizierten und

hochgezüchteten Geräten, deren Aufbau über die Leistungsfähigkeit eines einzelnen Menschen weit hinausgeht. Wenn eine Arbeit fruchtbringend gestaltet werden soll, kann dies im Grunde überhaupt nur noch im Zusammenwirken vieler Köpfe und Hände geschehen, die — jeder einzelne mit besonderen Fähigkeiten ausgestattet — gemeinsam eine Forschungsaufgabe bearbeiten. Dies führt zwangsläufig zu einer neuen Art der Gemeinschaftsarbeit, die in ganz anderer Weise als früher zustande kommt.

Auch wir müssen lernen, das ‹*teamwork*› in einer neuen Weise zu organisieren. Wir werden dazu gezwungen sein, wenn wir nicht im Wettbewerb mit anderen Staaten vollständig unterliegen wollen. Es wird dazu nötig sein, zugleich mit der Organisationsform auch unsere geistige Haltung den wissenschaftlichen Arbeitern gegenüber zu wandeln. Während sich früher noch ein einzelner Forscher durch eine hervorragende Arbeit Ansehen und Geltung verschaffen konnte, ist er als Mitglied eines Teams der Gefahr einer Anonymität ausgeliefert, die unter den heutigen Verhältnissen in Deutschland für ihn echte Nachteile mit sich bringt. Zu ihrer Vermeidung muß nach Wegen gesucht werden, um dem Mitglied eines Teams die Anerkennung zu sichern, die seinen Leistungen in gebührender Weise Rechnung trägt.

c) Zeitgemäße Forschungs-Organisation

Als Beispiel für eine zeitgemäße Forschungsorganisation mag die Entwicklung der Kernenergieverwertung in Deutschland bis zum Ende des Krieges 1945 angeführt werden. Ohne Heereswaffenamt und Reichsforschungsrat wäre es wohl kaum so weit gekommen, daß Amerikaner und Engländer 1945 einen Reaktor beschlagnahmen konnten, der fast zur Selbsterregung gekommen war. Leitung und Steuerung dieser neuartigen Forschungsorganisation, die Belieferung der Institute mit den notwendigen Materialien und ihre Ausstattung mit den erforderlichen Instrumenten wurden in viel großzügigerer Weise durchgeführt, als dies bei einem einzelnen Institut möglich ist. Freilich war es im Jahre 1939 in Wirklichkeit schon zu spät, wir hatten vorher zu viel versäumt. Die Mittel, die uns während der Kriegsjahre zur Verfügung standen, reichten nicht aus, um mit der nötigen Schnelligkeit die Aufgabe zu Ende zu führen. Immerhin sind wir bei Kriegsende nicht nur auf dem richtigen Wege gewesen, sondern standen so nahe vor der Realisierung des selbsterregten Kernreaktors, daß es im Grunde nur noch eine Frage von wenigen Wochen war, bis dieser wirklich zum Betrieb gekommen wäre.

Es mag deshalb berechtigt sein, dieser Entwicklung kurz nachzugehen und sie zu verfolgen. Sie verlief nicht ohne spannende Zwischenstufen und dramatische Entwicklungen. Wenn wir heute, fast 20 Jahre später, zu einem Zeitpunkt, in dem wir uns anschicken, die praktischen Arbeiten der Kernenergieverwertung abermals aufzunehmen, diese frühere Entwicklung überschauen, können wir feststellen, daß nicht nur die grundlegende Entdeckung für die Kernenergieverwertung von deutschen Forschern gemacht wurde, sondern daß die ersten entscheidenden Schritte zur Realisierung dieser Ausnützungsmöglichkeit nicht nur im Ausland, sondern auch in Deutschland unternommen wurden.

Ein unseliger Krieg brachte uns um die Früchte dieser Vorarbeit. Tatsache ist, daß die bei uns entwickelte Initiative zu einem guten Teil dazu beigetragen hat, die Aufnahme der Arbeit in den anderen Ländern in der ersten Phase dieser Entwicklung zu aktivieren. Das geht aus dem offiziellen *Smyth-Report* hervor, der 1945 nach den Bombenabwürfen auf Hiroshima und Nagasaki von der amerikanischen Atomenergie-Kommission publiziert worden ist. Auf Seite 28 dieses Berichtes heißt es über die Entwicklung der entsprechenden Bemühungen in den Vereinigten Staaten, daß nach verschiedenen vorausgehenden Treffen das vorläufige Komitee für Uranverwertungsfragen am 28. April 1940 zusammentrat. Nach Aufführung der Namen aller Beteiligten lautet der Text: ‹Zur Zeit dieses Treffens sind zwei neue Tatsachen bekanntgeworden. 1. ist entdeckt worden, daß die Uranspaltung nur beim Uran-Isotop 235 allein durch thermische Neutronen veranlaßt wird, 2. ist berichtet worden, daß ein großer Teil des Kaiser-Wilhelm-Instituts in Berlin für Untersuchungen auf dem Urangebiet eingesetzt worden ist. Nach dem Tenor des Treffens sollte die Arbeit mit größerer Intensität vorangetrieben werden, eine endgültige Empfehlung wurde nicht gegeben. Es wurde nur ausgeführt, daß Kritikalitätsmessungen an Kohlenstoff bereits an der Columbia-Universität durchgeführt werden und bald Unterlagen liefern sollten, auf deren Grundlage dann endgültige Empfehlungen ausgearbeitet werden könnten.›

Die folgenschwere Jahreswende 1938—1939

Schon im Jahre 1935 hatte der italienische Physiker Fermi aufregende Untersuchungen veröffentlicht, die damals durch die ganze Weltpresse gingen. Mit Neutronen, den elektrisch neutralen Bausteinen der Atomkerne, bestrahlte er die Atome des schwersten Elements in der Natur, des Urans. Es interessierte ihn, zu erfahren, ob es gelingt, durch Anlagerung von Neutronen an Atomkerne Substanzen zu erzeugen, die schwerer als das Uran sind. Der Versuch lieferte in der Tat Andeutungen für die Existenz solcher Transurane.

Schon bald nach Veröffentlichung der Fermischen Arbeiten befaßten sich in Deutschland Otto Hahn und sein Arbeitskreis, zu dem auch zu jener Zeit noch die Physikerin Lise Meitner zählte, mit diesen interessanten radioaktiven Stoffen. Die Fragestellungen lagen sozusagen im unmittelbaren Interessenbereich des Hahnschen Arbeitskreises, da sich Hahn schon seit Beginn des 20. Jahrhunderts mit der Aufklärung der radioaktiven Zerfallsreihen des Urans intensiv beschäftigt hatte. Er verfügte über die chemischen Erfahrungen, die zur Behandlung dieser Frage nötig sind. Es war ihm in der Frühzeit der Kernphysik nicht nur gelungen, neuartige radioaktive Körper, wie etwa das Mesothorium, selbst zu entdecken, sondern er konnte mit seinen Forschungsarbeiten auch viel Licht in das Dunkel der komplizierten radioaktiven Zerfallsreihen bringen. Forschungsarbeiten, die sich im ganzen über vier Jahrzehnte hinweg erstreckten, gaben Hahn und seinen Mitarbeitern die nötigen Erfahrungen, Fehldeutungen ihrer Beobachtungen an den radioaktiven Körpern mit Sicherheit auszuschließen. So mußte es ihn besonders reizen, sich mit der Aufklärung jener Zerfallsreihen zu beschäftigen, die nach der Bestrahlung von Uran mit Neutronen künstlich geschaffen wurden. Bei dem Versuch, die Eigenschaften dieser Transurane und ihre Zerfallsreihen zu ermitteln und aufzuklären, zeigte sich, daß eine verwirrende Fülle der verschiedenartigsten Substanzen vorhanden war und daß es fast unmöglich schien, eine verhältnismäßig glaubhafte Genealogie dieser radioaktiven Körper aufzustellen. An der Forschungsarbeit um die Aufklärung dieser Zusammenhänge waren auch andere Institute des Auslandes beteiligt, so vor allem das der Irène Curie in Paris. Gewisse Ergebnisse dieser französischen Forscher veranlaßten Otto Hahn und seinen Mitarbeiter Fritz Strassmann, in den Herbst- und Wintermonaten des Jahres 1938 nachzuprüfen, ob eine als Radium bezeichnete Substanz tatsächlich auch Radium sei. Anzeichen in den chemischen Reaktionen deuteten darauf hin, daß dieses vermeintliche Radium sich nicht in allen seinen Eigenschaften wie Radium verhielt. Vielmehr benahm sich dieses eher wie das chemisch nahe verwandte Barium, dessen Atomgewicht nur etwa halb so groß ist wie das des Radiums. Eine solche Substanz konnte aber als Folge eines Zerfalls von Transuranen nicht auftreten, da bei den radioaktiven Zerfällen immer nur kleine Kernteile abgesplittert werden, die das Atomgewicht der zerfallenden Körper nicht auf die Hälfte reduzieren können.

Eingehende Untersuchungen gaben Hahn und Strassmann die Gewißheit, daß das vermeintliche Radium sich wirklich wie Barium verhielt. So erscheint am 6. 1. 39 jenes sensationelle Heft der ‹Naturwissenschaft› mit der Arbeit von Hahn und Strassmann. In der Notiz, die nur zwei Seiten umfaßte, wurde die Möglichkeit angedeutet, daß die Atomkerne des Urans beim Beschuß mit Neutronen in zwei Teile zerlegt werden. Noch war diese Mitteilung außerordentlich vorsichtig gefaßt: ‹Als Chemiker› — so stellten Hahn und Strassmann fest — ‹müßten wir aus den kurz dargelegten Versuchen

das oben gebrachte Schema eigentlich umbenennen› — gemeint sind damit die Vorgänge, die wir heute als Kernspaltung bezeichnen — ‹als der Physik in gewisser Weise nahestehende Kernchemiker können wir uns zu diesem, allen Erfahrungen der Kernphysik widersprechenden Sprung noch nicht entschließen. Es könnten doch noch vielleicht eine Reihe seltsamer Zufälle unsere Ergebnisse vorgetäuscht haben.› Schon in ihrer zweiten, am 28. 1. 39 bei den ‹Naturwissenschaften› zur Veröffentlichung eingereichten Arbeit sind Hahn und Strassmann sich ihrer Entdeckung so sicher, daß sie bereits im Titel der Veröffentlichung das Auftreten von Kernbruchstücken bei der Uranspaltung wie eine Selbstverständlichkeit behandeln.

Inzwischen hatte sich freilich schon viel ereignet. Die Entdeckung war Anfang Januar durch briefliche Mitteilung Hahns in Kopenhagen bekannt geworden und wurde von dort telegrafisch an den in den Vereinigten Staaten weilenden Professor Niels Bohr weitergeleitet. Die Bekanntgabe der Hahnschen Ergebnisse durch Bohr auf einer Tagung von theoretischen Physikern in Washington war die große Sensation dieses Treffens. Sie veranlaßte Teilnehmer der Konferenz von der Sitzung und noch im Gesellschaftsanzug ins Labor zu gehen, wo sie Versuche zur Nachprüfung der Hahnschen Entdeckung anstellten. Schon wenige Tage danach veröffentlichten amerikanische Physiker eigene Beobachtungen über die Uranspaltung und bestätigten die Hahnschen Ergebnisse. Hahns langjährige Mitarbeiterin, die 1938 aus Deutschland emigrierte Frau Prof. Dr. Lise Meitner, und ihr Neffe W. Frisch, der früher im Institut für physikalische Chemie der Universität Hamburg gearbeitet hatte und zu dieser Zeit in Stockholm tätig war, konnten auf Grund theoretischer Betrachtungen über den Aufbau der Atomkerne gemeinsam berechnen, daß bei der Spaltung ungewöhnlich große und bis dahin noch in keinem Kernprozeß beobachtete Energiemengen freigesetzt werden. Das Einreichungsdatum ihrer Notiz in der englischen Zeitschrift ‹*Nature*› trägt das Datum vom 16. 1. 39. Die Notiz erscheint vier Wochen später. Inzwischen hatten auch die deutschen Physiker S. Flügge und G. v. Droste am 23. 1. 39 bei der ‹Zeitschrift für physikalische Chemie› eine Arbeit eingereicht, in der sie praktisch zu den gleichen Ergebnissen wie Meitner und Frisch kamen. So wurden unabhängig voneinander in Kopenhagen und in Berlin die gleichen Feststellungen getroffen, die darin gipfelten, daß bei den von Hahn und Strassmann entdeckten Prozessen der Kernspaltung Energiemengen vom 20- bis 30-fachen dessen frei werden, was sonst bei energiereichen Zerfallsprozessen radioaktiver Atomkerne je beobachtet worden war.

Innerhalb eines Zeitraums von kaum mehr als drei Wochen in den Monaten Dezember 1938 und Januar 1939 wurden somit schon zwei der wesentlichen Grundgedanken erkannt und der Welt mitgeteilt, die für die Verwertung der Kernenergie von grundlegender Bedeutung werden sollten. Noch war freilich von der Möglichkeit einer technischen Anwendung der Kernenergie nicht die Rede. Aber schon in der zweiten Arbeit von Hahn und Strassmann befindet

sich eine Bemerkung, die die Entwicklung sehr rasch in diese Richtung lenken sollte. Über die bei der Uranspaltung auftretenden Kernbruchstücke heißt es dort wörtlich: ‹Da eine Aufspaltung nach Atomgewichten, also etwa die Bildung von Masurium und benachbarten Elementen offensichtlich nicht vorliegt, könnte man an eine Aufspaltung nach Ordnungszahlen denken, wobei dann gleichzeitig eine Anzahl von Neutronen emittiert werden könnte›. Diese scheinbar unbedeutende Nebenbemerkung liefert den Schlüssel zur Auslösung der Kettenreaktion beim Uran und damit die Voraussetzung zur großtechnischen Energiegewinnung. Da nämlich die Uranspaltung durch Neutronen verursacht wird, hat man die Möglichkeit, abermals neue Spaltungen auszulösen, wenn bei diesem Prozeß seinerseits wieder Neutronen entstehen. Das aber ist das bekannte Grundprinzip einer *Kettenreaktion*, bei der durch den Vorgang selbst Reaktionsprodukte geliefert werden, die ihn ihrerseits von neuem anfachen und aufrechterhalten können.

3. Fortschritt und Hemmung im Zeichen des Krieges

Die Möglichkeit einer Kettenreaktion zur technischen Kernenergiegewinnung

Die Hahnschen Untersuchungen wurden besonders eingehend auch in dem Institut des Nobelpreisträgers F. Joliot, des Schwiegersohnes der Madame Curie, in Paris verfolgt und auf ihre Konsequenzen untersucht. Schon wenige Wochen später konnten die Physiker Halban, Joliot und Kowarsky am 8. März 1939 bekanntgeben, daß die von Hahn und Strassmann vermuteten Neutronen bei der Kernspaltung wirklich auftreten, und am 7. April 1939 veröffentlichten die drei französischen Wissenschaftler eine Notiz, aus der hervorging, daß eine Kettenreaktion zur Kernenergiegewinnung im Prinzip möglich sein muß. Es war von ihnen sichergestellt worden, daß bei der Uranspaltung mehr Neutronen entstehen, als zu ihrer Auslösung benötigt werden. Schon in ihrer ersten Veröffentlichung wiesen diese Forscher auf die Bedeutung dieses Phänomens als Mittel zur technischen Kernenergie-Erzeugung hin.

Mit dieser Feststellung war die grundsätzliche Möglichkeit der technischen Nutzbarmachung der Kernenergie klar erkannt. Noch aber war nicht bewiesen, ob sich die theoretischen Überlegungen auch in der Praxis durchführen lassen und ob es möglich sei, technisch interessierende Energiemengen auf diese Weise zu bekommen.

Das Heft der Zeitschrift ‹*Nature*›, in dem Halban, Joliot und Kowarsky ihre Ergebnisse veröffentlichten, war am 18. 3. erschienen. Fünf Wochen später, am 24. 4. 39, traf beim damaligen Reichskriegsministerium ein Brief des Hamburger Professors Paul Harteck und seines Mitarbeiters Dr. Groth ein, in dem darauf hingewiesen wurde, daß durch die Hahnschen Ergebnisse die grundsätzliche Möglichkeit

der Auslösung einer Kettenreaktion beim Uran und der Herstellung von neuartigen, höchst explosiven Sprengstoffen gegeben sei. Es wurde dem Reichskriegsministerium angeraten, die Zusammenhänge intensiv weiterzuverfolgen. Dieser Brief löste dort auf Grund bereits geleisteter Vorarbeiten eine Entwicklung aus, die, zuerst langsam, mit Kriegsbeginn im September 1939 etwas rascher, zur Aufnahme aller notwendigen Arbeiten für die Freisetzung der Kernenergie führte.

In den Sommermonaten des Jahres 1939 wurden unter dem Vorsitz des damaligen Präsidenten der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Berlin, Prof. Esau, auch im Reichskultusministerium Beratungen darüber abgehalten, was getan werden könnte, um zu einer praktischen Durchführung der Kernenergiegewinnung zu kommen. Es blieb aber bei Überlegungen und Diskussionen ohne echte praktische Folgen.

Im Reichskriegsministerium hingegen hatte man nach dem ersten Anstoß durch Harteck sofort Verbindung mit den zuständigen Physikern, so u. a. mit dem bekannten Prof. Geiger von der Technischen Hochschule Berlin, aufgenommen, um den allgemeinen Weg und ein Programm festzulegen, nach dem die Realisierung der Kernenergieverwertung möglich erschien.

Die damit eingeleiteten Entwicklungen bildeten den Ausgangspunkt für eine an Fortschritten, Enttäuschungen, Spannungen und Rückschlägen reiche Entwicklung, bis das Ziel der Nutzbarmachung der Kernenergie in greifbarer Nähe war. Die Diskrepanzen zwischen verfügbaren Mitteln, staatlichen Unterstützungen und tatsächlichen Erfordernissen waren zu groß, um leicht überbrückbar zu sein. Der im September 1939 beginnende Krieg bildete im Gegensatz zum Ausland für uns ein weiteres Hemmnis für die freie Entfaltung aller Kräfte zum Ziele der Nutzbarmachung der Kernenergie.

Die Einschaltung des Heereswaffenamtes in Berlin

Das Reichskriegsministerium der dreißiger Jahre gliederte sich in eine Reihe von Ämtern auf, deren eines das Heereswaffenamt war. Seine Funktion bestand nicht nur darin, die Beschaffung von Waffen für den Heeresbedarf zu veranlassen, sondern es hatte zugleich die Aufgabe, für die Entwicklung und Prüfung neuer Waffen zu sorgen. Aus diesem Grunde besaß es nicht nur eine Reihe eigener Forschungs- und Entwicklungsstätten, sondern es verfügte auch über einen Stab von Mitarbeitern und Referenten, die die neuen Verfahren und Methoden einzuführen hatten.

Die zuständigen Stellen des Heereswaffenamtes mußten in dieser Beziehung eine große Wendigkeit und Anpassungsfähigkeit besitzen, um wissenschaftliche und technische Neuigkeiten auf ihre Einsatzfähigkeit hin prüfen zu können. Selbst Wissenschaftsgebiete, die bis dahin noch keine praktische Anwendung gefunden hatten, mußten mit überwacht werden, damit auch neue, bisher unbekannte Möglichkeiten zur Waffenentwicklung erschlossen werden konnten.

So wurde u. a. schon 1935 die Überwachung kernphysikalischer und Strahlungsfragen vorgesehen, obgleich zu diesem Zeitpunkt noch nicht im entferntesten abzusehen war, ob und in welchem Umfang bzw. in welcher Weise sich die Kernenergie überhaupt praktisch für die Verteidigung verwerten lasse. Mit der Betreuung dieses Referates wurde Ende 1934 Dr. Diebner beauftragt, der sich während seiner Studienzeit und Assistentenjahre an der Universität Halle bei dem bekannten Ultrastrahlungsphysiker Hoffmann mit Fragen der experimentellen Kernphysik und speziell mit Kernumwandlungen befaßt hatte. Seine erste Aufgabe im Heereswaffenamt war es, mit einem kleinen Mitarbeiterstab der Initialzündung von Sprengstoffen mit Hilfe von radioaktiven Strahlen zu versuchen. Gleichzeitig hatte er die gesamte kernphysikalische Literatur im Hinblick auf waffentechnische Anwendungsmöglichkeiten zu verfolgen.

Für einen Referenten im damaligen Heereswaffenamt, der ein neues, bisher noch nicht unmittelbar anwendbares Fachgebiet zu betreuen hatte, war es häufig nicht leicht, von seinen Amtsgenossen ernst genommen zu werden. Dies traf damals ganz besonders für die Kernphysik zu. Mehr als einmal waren Stimmen zu hören: ‹Ihre Kernphysik wird nie eine praktische Anwendung finden.› Schon als die Dinge im Sommer 1939 immer mehr darauf hindeuteten, daß eine Kernenergieverwertung in sichtbare Nähe gerückt war, meinte der für die Kernphysik zuständige Abteilungsleiter seinem Referenten gegenüber: ‹Ach, hören Sie mir doch mit Ihrer Atomkakerei auf!› Mit einer solchen Einstellung einiger, wenn auch nicht aller vorgesetzten Dienststellen war es natürlich schwierig, auf den Harteckschen Brief und auf die im Heereswaffenamt selbst schon eingeleiteten Vorarbeiten hin eine große Unternehmung zur Nutzbarmachung der Kernenergie zu starten.

So mußte nach weiteren Unterstützungen gesucht werden. Es begann damit, daß Dr. Diebner und sein Mitarbeiter Dr. Zipprich sich an den bekannten Atomphysiker Prof. Geiger von der T. H. Berlin wandten, um mit ihm die Frage der Kernenergieverwertung zu diskutieren. Die Unterredung verlief durchaus positiv, und Geiger bestärkte die beiden Herren darin, Versuche zur Freisetzung der Kernenergie in Angriff zu nehmen. Diese Bemühungen wurden wesentlich begünstigt durch das Erscheinen eines Artikels des damaligen Assistenten von Prof. Hahn, Dr. S. Flügge, im Juni 1939 in den ‹Naturwissenschaften›. Unter dem für die damalige Zeit sensationell wirkenden Titel ‹Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden?› setzte Flügge die Möglichkeit der Auslösung einer Kettenreaktion mit Hilfe der Uranspaltung auseinander. Er zeigte, daß eine echte Chance für die Realisierung dieses Programms bestehe. Im übrigen wurde von Flügge in diesem Aufsatz schon angedeutet, in welcher Weise man praktisch vorzugehen habe. Außerdem enthält er die Anfänge einer Theorie der Kernenergieerzeugung, die für die weitere Entwicklung dieser Fragen grundlegend war und große Bedeutung bekommen sollte.

So gelang es schließlich, im Sommer 1939 die ersten Mittel für den

Beginn experimentell-kernphysikalischer Arbeiten freizumachen und vorbereitende Arbeiten einzuleiten. Schon in diesen Monaten entstand in der Heeresversuchsstelle Gottow eine Anlage zur Erzeugung von Neutronen. Etwa zur gleichen Zeit wurde ein selbständiges Referat für Kernphysik in der Forschungsabteilung des Heereswaffenamtes eingerichtet, das Dr. DIEBNER übertragen wurde. Dieses Referat konnte sich ausschließlich kernphysikalischen Arbeiten zuwenden, während es bisher andere Aufgaben allgemeinerer Art mit zu betreuen hatte. Die von Prof. ESAU entwickelte Parallelinitiative wirkte sich außerdem günstig auf die Beschleunigung der Pläne des Heereswaffenamtes aus. So war bereits ein verhältnismäßig umfangreiches Aktionsprogramm aufgestellt, als der Krieg begann und dazu zwang, die bisherigen Planungen aufzugeben bezw. sie in ganz anderer Weise neu in Angriff zu nehmen.

Es kam zunächst darauf an, daß die wenigen in Deutschland tätigen Kernphysiker nicht an die Front abkommandiert wurden. Dazu wurde in kürzester Frist eine Arbeitsgruppe zusammengestellt, die praktisch alle deutschen Kernphysiker zusammenfaßte. Für den 26. September 1939 rief man die maßgebenden Kernphysiker Deutschlands zu jener denkwürdigen Besprechung zusammen, bei der ihnen die Frage vorgelegt wurde, ob es verantwortet werden könne, daß von seiten des Heereswaffenamtes ein größeres Programm zur Kernenergiegewinnung in Angriff genommen würde. Im Falle einer Zustimmung sollte die Versammlung sofort ein schon vorbereitetes Programm beraten und notfalls erweitern. Der einfachste Weg, die Physiker für diese Aufgabe mit Sicherheit zur Verfügung zu haben, war der des militärischen Gestellungsbefehls, der daraufhin auch ausgeschrieben wurde. Zur Vorbereitung dieser Sitzung erhielt der damalige Forschungsassistent am Institut für theoretische Physik in Leipzig, Dr. BAGGE, am 8. 9. 39 seinen Gestellungsbefehl, der ihn zum Heereswaffenamt nach Berlin beorderte. Auf der Grundlage des FLÜGGEschen Artikels arbeitete Dr. BAGGE in großen Zügen die Richtlinien für ein Arbeitsprogramm aus, das von der Versammlung der Kernphysiker am 26. 9. 39 in allen Einzelheiten beraten und besprochen werden sollte. Wenige Tage darauf erschienen junge und auch ältere, unter ihnen sogar recht ehrwürdige Physiker mit ihrem Soldatenköfferchen in Berlin. Sie hatten, zunächst nicht ahnend, welche Aufgaben ihrer in der nächsten Zeit harrten, diese Köfferchen mit den nötigen Strümpfen, der Unterwäsche und allem gefüllt, was ein Soldat bei seiner Einberufung mitzubringen hat. Man merkte den Herren ihre Erleichterung deutlich an, als sie am nächsten Morgen im Heereswaffenamt erfuhren, zu welchem Zweck sie bestellt seien. Mit den Worten ‹Das ist ja prächtig, Herr DIEBNER, daß ich Sie hier treffe!› kam einer der Betroffenen auf jenen zu und stellte sein Gepäck froh und zufrieden in die Ecke des Amtszimmers. Dann begann am Morgen des 26. September die entscheidende Sitzung für die Einleitung dieser Arbeiten. Die Teilnehmer waren: BAGGE, BASCHE, BOTHE, DIEBNER, FLÜGGE, GEIGER, HARTECK, HOFFMANN und MATTAUCH.

Zu Beginn der Sitzung stellte der Vorsitzende, Oberreg.-Rat Dr. BASCHE, fest, daß das Heereswaffenamt sich entschlossen habe, die Frage der Kernenergieerzeugung ernsthaft zu verfolgen, nachdem von namhaften Wissenschaftlern die Möglichkeit ihrer technischen Ausnützung bereits ernsthaft diskutiert wurde. Außerdem, so stellte er fest, sei auf dem Weg über den ausländischen Nachrichtendienst bekannt geworden, daß auch in anderen Ländern Bemühungen in dieser Richtung im Gange seien. Man habe diese Versammlung einberufen, um verbindlich festzustellen, ob nach fachmännischer Ansicht der Entschluß zur Aufnahme dieser Arbeiten gerechtfertigt sei. Die Meinung von Dr. BASCHE war, daß unter allen Umständen eine klare Entscheidung darüber gefällt werden müsse, ob eine Atomenergiegewinnung in technischem Ausmaße tatsächlich möglich sei oder nicht. Auch eine negative Antwort sei von größter Bedeutung und würde wenigstens soviel heißen, daß es dann auch dem Feinde nicht möglich sei, uns mit neuartigen Waffen zu überraschen. Falls sich aber die Dinge positiv entwickeln sollten, wäre die Notwendigkeit ja ohnehin erwiesen. Im Anschluß daran wurde Herr FLÜGGE gebeten, über den Inhalt seiner Arbeit in den ‹Naturwissenschaften› noch einmal vor diesem Kreise kurz zu berichten.

Bei der an den Vortrag sich anschließenden Diskussion zeigte sich, daß Herr HARTECK von der technischen Realisierungsmöglichkeit der Atomenergiegewinnung voll überzeugt war und schon mit klaren Vorstellungen und festen Vorschlägen, die die ganze kommende Entwicklung entscheidend beeinflussen sollten, ins Heereswaffenamt gekommen war. Er machte nämlich auf dieser Sitzung den grundlegenden Vorschlag, das Uran und die Bremssubstanz räumlich voneinander zu trennen. Außerdem empfahl er, möglichst sofort mit einer Produktion von schwerem Wasser zu beginnen. Prof. GEIGER bekannte sich erneut zu seiner schon in früheren Unterhaltungen im Heereswaffenamt geäußerten Einstellung, die er in den Worten zusammenfaßte: ‹Meine Herren, wenn auch nur die geringste Spur einer Chance besteht, daß eine Energiegewinnung auf diesem Wege möglich ist, dann müssen wir sie unter allen Umständen verfolgen.› Auch Prof. BOTHE befürwortete die Inangriffnahme der Arbeiten; unter seiner Leitung begann sofort die Besprechung des schon vorbereiteten Arbeitsprogramms, in dem die Aufgaben klassifiziert und an verschiedene Arbeitsgruppen verteilt wurden. Am Schluß dieser entscheidenden Sitzung wurde verabredet, nach vier Wochen die nächste Besprechung zu veranstalten, zu der ein weiterer Kreis von Physikern geladen werden sollte. Auf Vorschlag seines damaligen Forschungsassistenten, Dr. BAGGE, wurde der Leipziger theoretische Physiker, Prof. W. HEISENBERG, für die zweite Sitzung eingeladen, weil man der Meinung war, daß auch die Verfolgung der theoretischen Seite der Atomenergieentwicklung von großer Bedeutung sei. Die Hinzuziehung von HEISENBERG hat die kommende Entwicklung stark beeinflußt.

In der Sitzung des Heereswaffenamtes am 26. Sept. 1939 war man sich einig geworden, daß die im FLÜGGEschen Artikel in den ‹Naturwissenschaften› aufgeworfenen Probleme es erforderlich machten, die Eigenschaften der als Brennmaterial in Frage kommenden Uranatomkerne genauer zu bestimmen. Es wurde schon damals diskutiert, ob es nicht nötig sei, eine Isotopen-Trennanlage für das Uran aufzubauen, um die Uran-Isotope 235 und 238 voneinander zu trennen. Noch war man nicht sicher, ob das Uran-Isotop 235 als Brennsubstanz besonders geeignet sei; doch gab es gewisse Hinweise aus älteren Experimenten, die die Vermutung begründet erscheinen ließen, daß gerade dieses Isotop der eigentliche Kernbrennstoff sein könne. Der HARTECKsche Vorschlag einer räumlichen Trennung von Brennmaterial und Bremssubstanz warf die weitere Frage auf, ob es nicht zweckmäßig sei, auch auf der Seite der leichten Isotope zu Trennanlagen zu kommen, die insbesondere auch schweres Wasser erzeugen können. Auch hier war die Lage so, daß noch nicht mit Sicherheit gesagt werden konnte, ob schweres Wasser geeigneter sei als leichtes. Doch war bei Berücksichtigung der Eigenschaften des Deuteriums (i. e. schwerer Wasserstoff) anzunehmen, daß der schwere Wasserstoff ein besonders günstiges Bremsmaterial sein müsse, einerseits weil er mit Neutronen gut abgesättigt ist, andererseits weil eine gewisse Aussicht dafür besteht, daß durch schnelle Neutronen der schwere Wasserstoff zerlegt wird und dabei weitere Teilchen gleicher Art zusätzlich entstehen. So kam der Plan zustande, nach den Arbeitsgebieten der verschiedenen Institute sowohl Messungen von Wirkungsquerschnitten als auch die Neuentwicklung von Isotopen-Trenneinrichtungen zu veranlassen.

Einige Wochen später, im Oktober, fand eine zweite Sitzung in einem durch Zuziehung der Herren Professoren CLUSIUS, DÖPEL, HEISENBERG, HAHN, JOOS und VON WEIZSÄCKER erweiterten Kreis statt.

Im Verlauf der Diskussion erklärten die anwesenden theoretischen Physiker ihre Bereitschaft, sich der theoretischen Bearbeitung, insbesondere der Frage einer Kettenreaktion, zu widmen. So kam es, daß diese Fragen schon wenige Wochen später in einer Untersuchung HEISENBERGS über die Möglichkeiten der technischen Energiegewinnung aus der Uran-Spaltung ausführlich bearbeitet wurden. Die im Oktober 1939 beim Heereswaffenamt eingereichte Arbeit enthielt eine den FLÜGGEschen Ansätzen gegenüber wesentlich vervollständigte Theorie, die für die weitere Entwicklung aller Untersuchungen des künftigen ‹Uranvereins› von grundlegender Bedeutung werden sollte. Sie enthielt zugleich einige wesentlich neue Gesichtspunkte über die Wirkungsweise solcher ‹Uranmaschinen›. HEISENBERG konnte nämlich zeigen, daß diese Maschinen im Falle ihrer Selbsterregung nicht beliebig hohe Temperaturen annehmen dürften, da dann der Prozeß der Selbsterregung zum Stillstand kommt. Insbesondere aber konnte man der HEISENBERGschen Arbeit entnehmen, daß die Verwendung von schwerem Wasser in Verbindung

mit natürlichem Uran mit größerer Wahrscheinlichkeit zu einem selbsterregten Reaktor führen müsse als mit leichtem Wasser. Die Frage, ob Kohle als Bremssubstanz geeignet sei, blieb unentschieden, weil die zugehörigen Wirkungsquerschnitte nicht genau genug bekannt waren. Durch diese HEISENBERGsche Arbeit waren die allgemeinen Richtlinien für die unmittelbare Realisierung einer Energiegewinnung in wesentlichen Punkten festgelegt. Der Arbeitskreis hatte sich inzwischen durch Hinzuziehung einiger weiterer Physiker aus Heidelberg, Berlin, Wien und Hamburg wesentlich vergrößert. So sehen wir im Jahre 1940 in verschiedenen Instituten Deutschlands die Physiker damit beschäftigt, die wichtigsten Wirkungsquerschnitte für die einzelnen Substanzen genauer zu prüfen. Bald schon konnten HEISENBERG und DÖPEL in Leipzig an verhältnismäßig kleinen Mengen schweren Wassers feststellen, daß der Absorptionsquerschnitt dieser Substanz besonders niedrig ist und daß sie deshalb in der Tat für die Herstellung eines Uranbrenners besonders geeignet sein muß. Andere Messungen durch BOTHE und seine Mitarbeiter, durch die Wiener Physiker JENTSCHKE und PRANKL und die Heidelberger Physiker FLAMMERSFELD, JENSEN und GENTNER lieferten Aufschluß über die Energieverteilung der bei der Kernspaltung auftretenden Spaltprodukte, während Untersuchungen KIRCHNERS und VON DROSTES wie auch BOTHES und GENTNERS Aufschlüsse über die Energien der Neutronen gaben, die bei den Spaltprozessen entstehen und die für die Weiterführung der Kettenreaktionen wesentlich sind. Schon im Jahre 1940 begannen aber neben diesen Untersuchungen, die für die Grundlagen der Berechnung von Uranbrennern wichtig waren, die ersten Versuche über Uranbrenneranordnungen. So wurde durch VON DROSTE ein Uranblock von 2 t Natriumuranat auf die Verteilung der Neutronen untersucht, die man künstlich in ihn hineinschießt. Daneben entstand in Hamburg unter Leitung von HARTECK in Zusammenarbeit mit seinen Mitarbeitern GROTH, JENSEN, KNAUER und SUESS die erste Schichtenanordnung, bei der Uranoxyd und feste Kohlensäure in einer Weise übereinander angeordnet wurden, wie das in den späteren Untersuchungen immer wieder getan und weiterentwickelt worden ist. Diese erste Schichtenanordnung lieferte zum ersten Mal überhaupt Anhaltspunkte für die Verteilung von Neutronen in solchen Gebilden. Die verwendeten Uranmengen waren natürlich noch außerordentlich gering. Während HARTECK sich noch im Mai 1940 mit einer Menge von etwa 100 kg Uranoxyd begnügen mußte, konnte eine andere Gruppe: BOPP, FISCHER, WIRTZ, die im Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin-Dahlem mit Schichtenanordnungen aus Uranoxyd und Paraffin die Arbeit aufnahm, schon mit rund 1 t Uranoxyd den ersten Experimentierpile aufbauen. Ziel aller dieser Versuche war, die Werte für die Wirkungsquerschnitte immer genauer zu bestimmen und damit immer bessere Grundlagen für die Berechnung der endgültigen, günstigsten Dimensionen solcher Schichtenanordnungen für einen selbsterregten Uranbrenner zu finden. Es mag als historisch interessant festgehalten werden, daß sich HEISENBERG noch am 29. 4. 1940 in

einem Brief an HARTECK mit diesem darüber einigte, in welcher Weise die gerade vorhandenen 150 kg Uranoxyd verteilt werden sollten. Auf beiden Seiten hatte man den Wunsch, mit Untersuchungen an Schichtenanordnungen zu beginnen und so schnell wie möglich voranzukommen. HEISENBERG schlug HARTECK vor, bis zur Durchführung weiterer Versuche einstweilen mit 100 kg Uranoxyd zufrieden zu sein, was von HARTECK angenommen wurde.

Übersicht über die Schichten- und Würfelversuche 1939 bis 1942

Nach dem ersten richtungweisenden Schichtenversuch im Jahre 1940 mit Uranoxyd (185 kg) und Kohlensäureeis (15 t) unter Leitung von HARTECK wurden in rascher Folge mit ständig wachsenden Mengen von Uranoxyd in Berlin, Heidelberg, Leipzig und in der Heeresversuchsstelle Gottow insgesamt 12 weitere Schichtenversuche durchgeführt. Sie alle hatten das Ziel, festzustellen, ob es im Prinzip überhaupt eine Anordnung mit selbsterregter Kettenreaktion gäbe, und außerdem sollten sie dazu dienen, Berechnungsunterlagen für immer günstigere Anordnungen zu liefern. Jede dieser Gruppen verfolgte dabei ganz bestimmte Prinzipien für den Aufbau der Anordnungen. So war z. B. das wesentliche Kennzeichen der Versuche im Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin, daß man in direkter Anlehnung an die HARTECKschen Versuche bei der einmal gewählten Schichtenanordnung blieb und nur die Abmessungen der Bremssubstanzen und des Urans veränderte. Dagegen verwendete man als Bremssubstanz nicht mehr Kohlensäureeis sondern Paraffin. Schon beim ersten Berliner Versuch standen immerhin 6 800 kg Uranoxyd zur Verfügung. Dies war zu jener Zeit ein wesentlicher Teil des gesamten in Deutschland vorhandenen Uranvorrats, der fast ausschließlich aus dem Joachimsthaler Vorkommen in der Tschechoslowakei stammte. Bei keinem der 5 Berliner Versuche konnte eine Anordnung gefunden werden, die eine echte Neutronenvermehrung und damit eine Selbsterregungsmöglichkeit eines Kernreaktors erkennen ließ. Ähnlich verliefen die entsprechenden Versuche der Heidelberger Gruppe, wo in einem großen Bottich 4 t Uranoxyd mit etwa einer halben Tonne Wasser zu einer Paste vermischt waren.

Nach anderen Bauprinzipien verfuhr die unter DIEBNER stehende Gruppe des Heereswaffenamtes. Man hatte sich überlegt, daß es in Weiterentwicklung des HARTECKschen Schichtenvorschlages noch günstiger sein müsse, anstelle von alternierenden Schichten aus Uran und Bremssubstanz eine Anordnung zu wählen, bei der würfelartige Urankörper in die Bremssubstanz eingebettet sind. Die allseitige Umhüllung des Brennmaterials durch die Bremssubstanz mußte im Sinne des HARTECKschen Vorschlags zu einer weiteren Verbesserung der neutronenvermehrenden Eigenschaften führen. Man hatte sich weiter überlegt, daß die unerwünschten Einfangprozesse der Neutronen im Uran 238 dadurch in ihrer Bedeutung herabgemindert werden. Wenn auch die Gottower Versuche ähnlich

wie die in Berlin und Heidelberg zu keinem selbsterregten Reaktor führten, so zeigte doch die theoretische Auswertung dieser Ergebnisse, daß die Anordnung mit Würfeln besser war als eine Schichtenanordnung.

Parallel zu den bisher beschriebenen Versuchen waren ab Frühjahr 1941 auch in Leipzig Versuche unternommen worden, bei denen nun nicht mehr Uranoxyd, sondern schon Uranmetallpulver eingesetzt werden konnte. Bei den weiteren Versuchen bis zum Frühjahr 1942 fand in steigendem Maße auch Schwerwasser Verwendung. Schließlich standen in Leipzig im Frühjahr 1942 immerhin schon 750 kg Uranmetallpulver und 220 l schweres Wasser zur Verfügung, die in eine Kugel von 37 cm Radius schichtenweise konzentrisch eingebaut waren.

Während die Neutronenproduktion des ersten Leipziger Versuchs von HEISENBERG und DÖPEL vom Frühjahr 1941 noch viel zu gering war, um zu einem selbsterregten Uranbrenner zu führen, ergaben schon die nächsten Versuche Anordnungen, die sehr nahe an der Selbsterregungsgrenze lagen. Beim vierten Leipziger Versuch zeigten die Messungen, daß mehr Neutronen die Oberfläche der gesamten Anordnungen verließen, als durch das Neutronenpräparat in sein Inneres künstlich eingebracht wurden. Wenn auch der damals berechnete Neutronenproduktions-Koeffizient sehr klein war, so hatte er immerhin einen positiven Wert und war gerade so weit über Null gekommen, daß er innerhalb der Meßfehlergrenzen als erster Nachweis für die Möglichkeit einer selbsterregten Kettenreaktion angesehen werden mußte. Freilich waren diese Messungen für sich genommen noch nicht voll überzeugend. Betrachtete man sie aber im Zusammenhang mit den übrigen Versuchen und vergegenwärtigte man sich zugleich die schrittweisen Verbesserungen, die im Laufe der Zeit erzielt worden waren, so mußte dies nach dem Stand der Kenntnisse zu jener Zeit im ganzen als Beweis für die prinzipielle Möglichkeit eines selbsterregten Uranbrenners angesehen werden.

Entscheidende Wende im Jahre 1942

Zunächst sei kurz auf die entsprechende Entwicklung der Atomenergiegewinnung in den Vereinigten Staaten hingewiesen.

In der Zeit von 1939 bis 1941 hatte sich in den USA besonders eine Gruppe um den ehemals italienischen Physiker FERMI in Chicago mit der Frage einer Kettenreaktion beim Uran befaßt. Diese arbeitete anfänglich nach etwas anderen Gesichtspunkten. Sie beschäftigte sich nämlich in erster Linie mit der genaueren Ermittlung der Wirkungsquerschnitte, um die theoretischen Unterlagen für die Vorausberechnung von selbsterregten Reaktoren zu verbessern. So dauerte es noch bis zum Juli 1941, bis die Gruppe um FERMI die erste Graphit-Uran-Gitteranordnung baute, die in ihrer äußeren Konstruktion etwa dem Gottower Aufbau entsprach. Der Unterschied der beiden bestand darin, daß die Amerikaner anstelle von Paraffin

Graphit als Bremssubstanz verwendeten. Nach ihren vorausgegangenen Wirkungsquerschnittsmessungen mußte Graphit zumindest nicht ungeeignet erscheinen. In den Monaten Juli bis Dezember 1941 wurden in rascher Folge an der Columbia Universität mehrere solche Anordnungen mit verschiedenen Dimensionen der Uran-Graphit-Teile ausprobiert, und bei Jahresende war FERMI immerhin so weit an die Selbsterregungsgrenze herangekommen, daß er bei weiterer Reinigung des Materials damit rechnen konnte, einen überkritischen Reaktor zu erhalten.

Zur gleichen Zeit besaßen wir in Deutschland durch das Ergebnis der Leipziger Versuche mit Uranmetall und schwerem Wasser einen echten Zeitvorsprung, da wir bei hinreichenden Materialmengen eine im Prinzip überkritische Anordnung vor uns hatten. Daß in Deutschland aus den Ergebnissen der Leipziger Arbeit lediglich der Schluß gezogen wurde, die Versuche im bisherigen Ausmaß weiterzuführen, während auf der anderen Seite des Ozeans die Aufnahme der Arbeiten zur Kernenergieverwertung in größtem Stile eingeleitet wurde, mußte sich auf den Fortgang der deutschen Forschung notwendigerweise stark hemmend auswirken.

Am 5. 12. 1941 sandte der damalige Chef der Forschungsabteilung im Oberkommando des Heeres ein Rundschreiben folgenden Wortlautes an eine Reihe von Universitätsprofessoren und Institutsleiter:

‹Betr.: Arbeitsbesprechung.
Sehr geehrter Herr Professor! Die Arbeiten des von der Arbeitsgemeinschaft übernommenen Vorhabens bedingen einen Einsatz, der bei der augenblicklichen Wehrersatz- und Rohstofflage nur verantwortet werden kann, wenn Gewißheit besteht, in absehbarer Zeit eine Anwendung zu erreichen. Es soll daher am Dienstag, den 16. 12. 1941, um 10 Uhr vormittags eine Besprechung im Heereswaffenamt, Forschungsabteilung, mit den an den Untersuchungen führend beteiligten Herren Institutsleitern stattfinden.

Nach Abfassung eines gemeinsamen Berichtes über den Stand der Versuche und die weitere Planung mit Angabe von Terminen für den Abschluß von Teilproblemen werde ich den Herrn Chef des Heereswaffenamtes von dem Ergebnis der Besprechung unterrichten und die Entscheidung über die Art der weiteren Behandlung der Angelegenheit höheren Ortes herbeiführen.

gezeichnet N. N.›

Die Konsequenz dieser Sitzung war der Beschluß, in der Zeit vom 26. bis 28. Februar 1942 eine Tagung zu veranstalten, die eine Übersicht über die bisher erzielten Ergebnisse aller Mitarbeiter des ‹Uranvereins› bringen sollte. Noch bevor die Tagung wirklich stattfand, war jedoch beschlossen worden, die Arbeiten aus dem Heereswaffenamt herauszunehmen und dem Reichsforschungsrat zu übertragen. Dort sollten sie als reines Forschungsvorhaben weiterbetrieben werden.

Gerade zu diesem Zeitpunkt wäre es aber nötig gewesen, das

Gegenteil zu beschließen; denn nur über das Oberkommando des Heeres war es möglich, mit der nötigen Schnelligkeit die Durchführung der Arbeiten in großem Umfange durchzusetzen. Fast auf den Tag genau wurde in Amerika ein entgegengesetzter Entschluß gefaßt. Am 28. November 1941 erklärte ein Vertreter des nationalen Verteidigungskomitees, Prof. Dr. BUSH, bei einer Sitzung, daß er es für außerordentlich wünschenswert halte, die bisherigen Arbeiten der Urangruppe neu und in viel großzügigerer Weise zu organisieren. Die Mitglieder dieses Komitees stimmten ihm zu. Wenige Tage später, am 6. 12. 1941, regte JAMES B. CONANT, der spätere Botschafter der Vereinigten Staaten in Bonn, an, eine gewaltige Anstrengung zur Reorganisierung dieser Gruppe zu unternehmen. Von diesem Augenblick an wurde die weitere Entwicklung der Kernenergiegewinnung in den Vereinigten Staaten zu einem Vorhaben größten Stils, das nach kurzer Zeit einen wesentlichen Teil des gesamten Staatshaushaltes der Vereinigten Staaten ausmachen sollte.

Über die Tagung vom 26. bis 28. 2. 1942 im Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin ist noch zu berichten, daß fast alle damaligen Beteiligten am deutschen Uranvorhaben Vorträge über die von ihnen erarbeiteten Ergebnisse hielten. Neben den wichtigen Berichten über die Schichtenversuche an den verschiedenen Arbeits- und Forschungsstätten gab diese Tagung auch einen Überblick über die Messungen der Arbeitsgruppen für die Wirkungsquerschnitte und die Versuche zur Isotopentrennung.

Obwohl in den Vorträgen mit aller Klarheit und Deutlichkeit zum Ausdruck kam, daß an der Realisierung eines selbsterregten Uranbrenners kein Zweifel bestehen könne, gaben andere Gesichtspunkte den Ausschlag für die Entscheidung, die weiteren Arbeiten in kleinem Stile voranzutreiben.

Natürlich konnte zu jener Zeit keiner der Physiker die Versicherung abgeben, daß innerhalb von dreiviertel Jahren die Arbeiten bis zur kriegsmäßigen Ausnützung der Kernenergie als Waffe führen würden. Dies war aber vom Oberkommando des Heeres gefordert worden, wenn die Arbeiten in großem Stile aufgenommen werden sollten. So wurde denn die ganze Organisation einem Hochfrequenztechniker, nämlich Prof. Dr. ESAU, übertragen, der im Auftrage des Reichsforschungsrates die Arbeiten weiterzuleiten hatte.

Damit war die Schlagkraft dieser Organisation weitgehend gelähmt. Ihr fehlten von nun an die machtpolitischen Möglichkeiten des Oberkommandos des Heeres. Es mutet heute geradezu als eine Ironie an, wenn man als Titel eines Tagungs-Referates vom 26. 2. 1942 liest: ‹Über die Erweiterung der Arbeitsgemeinschaft Kernphysik durch Beteiligung anderer Reichsressorts und der Industrie.› Jeder, der die Verhältnisse in der Kriegszeit miterlebt hat, weiß, daß diese Erweiterung nicht zu einer Aktivierung und Verstärkung der Möglichkeiten führen konnte, sondern sich als Behinderung der Entwicklung auswirken mußte. Die unmittelbare Folge dieser Fehlentscheidung war, daß es bis zum Kriegsende 1945 nicht mehr zum selbsterregten Uranbrenner kam. Tatsächlich waren wir bei der Besetzung

durch die Amerikaner im April 1945 sehr nahe daran. Nur eine nicht gerade optimale Wahl der Versuchsbedingungen ließ uns dieses Ziel nicht mehr erreichen.

Der Tagungsbericht für die wissenschaftliche Tagung der Arbeitsgemeinschaft Kernphysik vom 26. 2. bis 28. 2. 1942

Für eine objektive, historische Betrachtung der Entwicklung ist es erforderlich, den offiziellen Tagungsbericht für die im Februar abgehaltene Veranstaltung wörtlich zu zitieren. Er ist in dieser Form nicht nur den beteiligten Physikern, sondern auch den führenden Stellen im Oberkommando des Heeres, im Reichsforschungsrat und in den zuständigen Ministerien zugeleitet worden. Schon in der Einleitung heißt es:

‹Die bisherigen Versuche zur Nutzbarmachung von Atomkernenergien weisen darauf hin, daß es möglich sein wird, eine Uranenergiequelle zu bauen. Nach dem derzeitigen Stand wird das Tempo der auf die sogenannte ‚Uranmaschine' hinzielenden Arbeiten im wesentlichen durch Materialbeschaffungsfragen bestimmt. Die z. Z. vorliegenden Erkenntnisse sind im folgenden zusammengestellt.›

In einem 131 Seiten langen ausführlichen Bericht werden mit wissenschaftlicher Gründlichkeit und Präzision das gesamte bis dahin erarbeitete Erfahrungsmaterial und die theoretische Grundlage der Kernenergieverwertung zusammenfassend behandelt. Neben einer einleitenden Übersicht über die Entwicklung des Problems und über die Wirkungsweise energieerzeugender Anordnungen wird in einem besonderen Kapitel die Theorie der ‹Uranmaschine› in allen Einzelheiten diskutiert. Wenn inzwischen diese Theorie auch durch die andersartigen Formulierungen der amerikanischen Physiker bis zu einem gewissen Grade überholt ist, so bleibt sie doch in ihren wesentlichen Punkten richtig und wäre im Prinzip auch heute noch für die Berechnung von Uranmaschinen geeignet. In einem zweiten Kapitel wird die experimentelle Untersuchung der Materialien besprochen, wobei die Eigenschaften aller bei der Kernenergieverwertung wesentlichen Stoffe im einzelnen untersucht und beschrieben werden. Im Schlußkapitel sind dann Verfahren zur Trennung von Isotopen und zur Herstellung von besonderen chemischen Verbindungen behandelt, die für die Isotopentrennung von Interesse sind. Das Schlußwort dieses zusammenfassenden Berichtes gibt in unmißverständlicher Form die Überzeugung wieder, daß eine selbsterregte ‹Uranmaschine› aufgebaut werden kann. Es enthält darüber hinaus noch eine Reihe von interessanten Gesichtspunkten, die auch heute noch richtig und von Bedeutung sind, so daß wir es für angebracht halten, dieses Schlußwort unverändert wiederzugeben. Es lautet:

‹Die vorangegangenen Betrachtungen haben einen Einblick in die Fülle der Untersuchungen gegeben, die gemeinsam mit dem Heereswaffenamt zur Lösung des Problems der Kernenergiebefreiung durchgeführt worden sind. Es besteht eine straff organisierte Arbeitsge-

meinschaft, in der die bedeutendsten deutschen Forscher an dieser Aufgabe arbeiten. Die bisherigen Ergebnisse haben eine weitgehende Klärung der bei der Kernspaltung des Urans auftretenden Vorgänge gebracht und gezeigt, daß die technische Gewinnung von Kernenergie aus der Uranspaltung mit Sicherheit möglich ist, wenn reines oder angereichertes Uran 235 verwendet wird, daß aber auch mit Schichtenanordnungen von natürlichem Uran und schwerem Wasser ein Erfolg in Kürze erwartet werden kann. Die endgültige Entscheidung, in welchem Ausmaß das Problem auf diese zweite Art zu lösen ist, wird ein bereits vorbereiteter halbtechnischer Versuch mit Uranmetall und etwa 1 t schwerem Wasser bringen. Zwischenresultate von z. Z. allerdings noch nicht abgeschlossenen Versuchen in Leipzig deuten an, daß möglicherweise die bisher noch bestehende Schwierigkeit des Halterungsmaterials gegenstandslos wird. Die im Vorjahre stattgefundene Tagung der Arbeitsgemeinschaft war im wesentlichen noch darauf ausgerichtet, Voraussetzungen zu schaffen, unter denen Versuche in größerem Maßstabe gemacht werden könnten. In dem zwischen beiden Tagungen liegenden Zeitraum sind mit solchen Anordnungen und durch andere grundlegende Versuche wichtige Erkenntnisse gewonnen worden, von denen einige herausgegriffen werden sollen. So konnte der Einfluß der schnellen Neutronen auf die Wirkungsweise der Maschine abgeschätzt werden. Bezüglich der Isotopentrennung hat sich inzwischen gezeigt, daß nach Clusius und Dickel eine Trennung des UF_6 technisch nicht möglich ist. Dagegen sind andere erfolgversprechende Trennungsmethoden inzwischen entwickelt worden. Wohl den größten Fortschritt machten in dieser Zeit die Arbeiten zur Herstellung von metallischem Uran und schwerem Wasser. Diese Verfahren sind nicht nur technisch gelöst, sondern auch die Einstellung der Lieferfirmen auf die nötige Produktion ist weitgehend erfolgt, und beide Substanzen, vor allem aber Uranmetall, stehen schon in beträchtlichen Mengen zur Verfügung.

Auf jeden Fall sollte nach dem derzeitigen Stand schon die technische Ausgestaltung und Ausnutzung des Energieproblems vorbereitet werden. Die ungeheure Bedeutung, die sich für die Energiewirtschaft im allgemeinen und für die Wehrmacht im besonderen ergibt, rechtfertigt solche Vorausarbeiten um so mehr, als auch in den Feindstaaten, vor allem in Amerika, intensiv an dem Problem gearbeitet wird.

Die voraussichtliche Leistung einer Uranmaschine wird durch einige Angaben von Flügge charakterisiert. Selbst unter der Annahme, daß nur 1 % des Urans in der Maschine ‹verbrennt›, werden je Gramm Uran 600 000 kWh frei, d. h. mit 30 t Uran könnte die gesamte Leistung der Reichselektrowerke 1929, 7×10^5 kW, ein Jahr lang aufgebracht werden. Wie günstig ‚Uranmaschinen' als Energiequellen für Fahrzeuge sein würden, ergibt sich aus den gleichen Berechnungen, wonach z. B. ein Kreuzer bei einer angenommenen Leistung von 100 000 PS mit einer Anlage von 4 t Uran rund 1 Jahr lang mit Energie versorgt werden könnte. Dabei würde unter der

gestellten Voraussetzung nur ein sehr geringer Teil verbraucht werden. Da die Maschine mit natürlichem Uran eine bestimmte Minimalgröße haben muß, die vorerst mit einigen Tonnen angenommen wird, scheint ihre Anwendung unter Benutzung des natürlichen Isotopengemisches für Flugzeuge und kleinere Fahrzeuge noch nicht möglich, wohl aber für stationäre Anlagen des Heeres und der Wehrmacht im allgemeinen und der Industrie sowie für Schiffe und größere Tanks, beim Gelingen einer Verschiebung der Isotopenverhältnisse zugunsten des Uran 235 dagegen auch für gewöhnliche Kraftfahrzeuge und Flugzeuge. Die Anwendung für Raketen darf dabei nicht außer Betracht bleiben.

Eine solche Uranmaschine erzeugt weiter Strahlungsintensitäten, die bisher völlig unerreichbar sind. Man könnte damit auch gewissermaßen als ‚Abfallprodukt' künstlich radioaktive Substanzen, z. B. für die Radiumtherapie, in größeren Mengen herstellen. Besonders wichtig wäre es, wie schon in Kapitel 1 ausgeführt, das in einer ‚Maschine' entstehende Element 94 chemisch abzutrennen und zur Herstellung wesentlich kleiner dimensionierter Anordnungen zu verwenden. Mit diesem Element 94 würden sich dann auch ohne Trennung der Uranisotope ‚Kernsprengstoffe' herstellen lassen, deren Wirkung die der bisher bekannten Sprengstoffe um viele Zehnerpotenzen übertrifft. Die Bedeutung für die Anwendung ist nach diesen kurzen Hinweisen nicht erschöpft. Es geht aber schon daraus hervor, wie notwendig eine intensive Fortführung der Arbeiten ist. So muß der schon erwähnte halbtechnische Versuch das Ziel haben, baldmöglichst eine arbeitende Uranmaschine zu erstellen, um noch offene Fragen zu klären und über die Dimensionierung technischer Anordnungen zu entscheiden. Dieser klar vorgezeichnete Weg erfordert, nachdem die auf dieses Ziel ausgerichteten vordringlichsten wissenschaftlichen Probleme als gelöst gelten können, einen bedeutenden Einsatz von Mitteln und vor allem von eingearbeiteten Mitarbeitern, deren Sicherstellung auch in der Industrie unbedingt erforderlich ist. Wenn alle Voraussetzungen gegeben sind, muß die großtechnische Erzeugung von schwerem Wasser weiter vorangetrieben und insbesondere für die Herstellung von kompaktem Uranmetall noch mehr intensiviert werden. Über die Möglichkeit der Herstellung von Kernbrennstoffen kann erst nach Anlaufen der ersten ‚Uranmaschine' bzw. nach Erfolg der Isotopentrennung in technischem Ausmaße entschieden werden. Vorläufig sind im Hinblick darauf noch viele Vorarbeiten zu leisten.›

Nur in einigen Punkten ist dieses Schlußwort etwas vorsichtiger formuliert, als man es heute tun würde. Fast scheint es uns unbegreiflich, daß man daraufhin den Entschluß fassen konnte, die Arbeiten auf dem Urangebiet nur in kleinem Maßstabe voranzubringen. Freilich muß man diese Entwicklung auch unter dem Gesichtspunkt sehen, daß zu jener Zeit der Zweite Weltkrieg voll im Gange war und daß mit dem Fehlschlag der Einnahme Moskaus in jenen Monaten jedem Klardenkenden die Möglichkeit eines ungünstigen Kriegsausganges nahezu zur Gewißheit wurde.

Wir stehen im Jahre 1957 mit der Aufnahme der Arbeiten zur Kernenergieverwertung abermals vor Entscheidungen ähnlicher Tragweite. Wieder erhebt sich die Frage, ob die Arbeiten zur Kernenergieverwertung in der Bundesrepublik in großem Maßstab aufgenommen werden sollen oder nicht, und in welcher Weise dies zu geschehen hat. Wir haben gesehen, daß die Entscheidung darüber, wie im Jahre 1942 die Arbeiten zur Kernenergieverwertung vorangetrieben werden sollten, in letzter Instanz von fachfremden Kräften gefällt wurde. Man muß sich heute vergegenwärtigen, wie verhängnisvoll dies für die deutsche Atomenergieentwicklung schon einmal war. Damit soll natürlich nicht gesagt sein, daß sich die Fachleute nicht mit Politikern, Juristen und Volkswirtschaftlern abstimmen sollten, wohl aber müßte auch ihnen eine echte Entscheidungsbefugnis zustehen. Es reicht nicht aus, wenn Fachkommissionen gebildet werden, die nur beratende Funktionen haben. Wir müssen bereit sein, Persönlichkeiten mit gut fundierter wissenschaftlicher und technischer Vorbildung auch in die höchsten Staatsstellungen zu bringen, die in den wichtigsten Lebensfragen unseres Volkes in eigener Verantwortung bei den Entscheidungen mitwirken. Es ist erforderlich, genügend technische Laufbahnen in den Ministerien zu schaffen, wie sie ähnlich bei der Deutschen Bundesbahn, bei der Bundespost und auch bei der Deutschen Physikalischen Bundesanstalt heute schon vorhanden sind und sich bestens bewähren. Bei der allgemeinen Bedeutung, die Wissenschaft und Technik heute für das Leben der Menschen besitzen und die gerade die Kernenergie in der Zukunft gewinnen wird, müssen wissenschaftlich-technische Laufbahnen bis zu den höchsten Staatsstellen eingeplant sein. Nur dann ist gewährleistet, daß bei Entscheidungen in lebenswichtigen Fragen auch rein fachliche Gesichtspunkte die ihnen zukommende Beachtung und Berücksichtigung finden.

Die Situation in England im Jahre 1941

Für die Beurteilung der Situation im Jahre 1941/42 mag es auch von Interesse sein, einen Bericht zu zitieren, der sich in dem bekannten *Smyth-Report* der amerikanischen Atomenergie-Kommission vom Jahre 1945 findet und der sich auf den Austausch von Informationen mit England bezieht. Dort heißt es:

‹Vor dem Herbst 1941 hatten ein Austausch von Berichten mit den Engländern und einige Diskussionen mit britischen Wissenschaftlern stattgefunden, die aus anderen Gründen in den Vereinigten Staaten waren. Im September 1941 wurde entschieden, daß zwei amerikanische Physiker sich durch eine Reise nach England Informationen aus erster Hand beschaffen sollten. Sie führten ihre Reise in der ersten Dezemberwoche 1941 aus. Im allgemeinen erfolgte die Forschungsarbeit in England nach denselben Entwicklungslinien wie in den Vereinigten Staaten. Im Hinblick auf das Kettenreaktionsproblem hatten sie ihre Aufmerksamkeit besonders auf das schwere

Wasser als Bremssubstanz und weniger auf Graphit gerichtet. Hinsichtlich der Isotopentrennung hatten sie intensive Anstrengungen für den Diffusionsprozeß unternommen und eine allgemeine Theorie der Kaskaden entwickelt. Tatsächlich lag jedoch die Bedeutung dieses Besuchs und anderer Verbindungen während des Sommers 1941 nicht so sehr in der Erlangung genauer wissenschaftlicher Auskünfte, als vielmehr in der Sammlung allgemeiner wissenschaftlicher Eindrücke. Die Engländer waren davon überzeugt, daß eine Uran-235-Kettenreaktion ausgelöst werden könnte. Sie wußten, daß einige kg schweres Wasser pro Tag in Norwegen erzeugt würden und daß Deutschland beträchtliche Mengen von Paraffin, das mit schwerem Wasser hergestellt werden sollte, bestellt hatte. Es war schwer, sich vorzustellen, daß die Benutzung dieses Materials anderen Zwecken als dem Uranproblem dienen sollte. Sie fürchteten, daß, wenn die Deutschen Atombomben vor den Alliierten in ihre Hände bekämen, der Krieg in wenigen Wochen vorbei sein könnte. Das Gefühl der Dringlichkeit, mit dem die amerikanischen Physiker zurückkamen, war für die Entscheidung der kommenden Zeit von größter Bedeutung.›

Die Arbeiten zur Isotopentrennung in Deutschland von 1939 bis 1945

Wie wir schon oben erwähnten, wurde bei der Februartagung 1942 auch eine Reihe von Vorträgen über die Möglichkeit der Isotopentrennung in Deutschland und über die Verwertung dieser Isotope im Zusammenhang mit Reaktorfragen gehalten. Es bestand ja doppelter Anlaß, sich mit den Fragen der Isotopentrennung intensiv zu beschäftigen. Auf der einen Seite war durch das Studium der Spaltvorgänge und insbesondere durch die theoretischen Untersuchungen von Bohr im Jahre 1939 bereits sehr wahrscheinlich gemacht und durch die späteren Untersuchungen von Nier in den Vereinigten Staaten im Jahre 1940 sogar bewiesen worden, daß das Uran 235 das eigentlich spaltende Isotop im natürlichen Uran sei. Da man sich ausrechnen konnte, daß z. B. natürliches Uran in Verbindung mit Wasser nicht zum selbsterregten Reaktor führen würde, sondern nur in Verbindung mit besonders präparierten reinen Substanzen, etwa schwerem Wasser oder mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch mit Kohle, lag es von Anfang an nahe, durch Isotopentrennverfahren das Uranisotop 235 anzureichern oder rein darzustellen. Die Förderung dieser Arbeit durch das Heereswaffenamt hatte aber schon sehr frühzeitig auch einen anderen Grund. Man mußte sich klarmachen, daß ein hochangereichertes Isotop 235, bei dem die störenden Nebenwirkungen durch das nicht spaltbare Uran 238 ausgeschaltet waren, mit großer Wahrscheinlichkeit als Sprengstoff verwendet werden könnte. Es bestand von seiten des Heereswaffenamtes deshalb immer der ausgesprochene Wunsch, zu brauchbaren Isotopentrennverfahren zu kommen, die das Uran 235 zumindest anzureichern erlaubten. Die andere Notwendigkeit, Isotope

zu trennen, ergab sich aus dem Wunsche, schweres Wasser als Bremssubstanz in Kernreaktoren zu verwenden. Da das Deuterium im natürlichen Wasserstoff nur im Verhältnis 1 : 5000 beigemischt ist, benötigte man auch hier Isotopentrenneinrichtungen.

Die Schwerwasserbeschaffung von 1939 bis 1945

Für die Herstellung von schwerem Wasser bestand bis zum Jahr 1939 überhaupt nur eine einzige Anlage auf der Welt. Es war dies die Elektrolysierungsanlage der Norsk-Hydrowerke in Rjukan in Norwegen. Die erste Fühlungnahme mit diesem Werk erfolgte bereits 1940 nach der Besetzung von Norwegen. Es stellte sich damals heraus, daß es eine Monatsproduktion von etwa 10 l schwerem Wasser besaß. Sie reichte bei weitem nicht aus, um die voraussichtlichen Erfordernisse zu befriedigen, und so entstand sehr bald der Wunsch, die Produktionsmöglichkeiten in Norwegen zu vergrößern.

Zur Zeit der ersten Fühlungnahme mit den Norwegern befanden sich in Rjukan — diese Feststellung ist nicht uninteressant — keinerlei Vorräte an schwerem Wasser. Diese waren, wie sich nach der Besetzung von Paris 1940 ergab, schon vorher durch eine französische Gruppe unter Leitung des Physikers Joliot-Curie gekauft und nach Frankreich geschafft worden. Bevor jedoch die deutschen Truppen Paris erreichten, war das schwere Wasser aus Frankreich nach England verschifft und so dem Zugriff der deutschen Truppen entzogen worden.

Die Steigerung der Schwerwasserproduktion in Norwegen erfolgte auf Wunsch des Heereswaffenamtes im wesentlichen unter Beteiligung der deutschen Physikochemiker Harteck und Suess. Sie führte bis zum Jahre 1943 durch Einbau von Zusatzanlagen dazu, daß man in den ersten Monaten des Jahres 1943 eine Produktion von 300 l schweren Wassers pro Monat erreicht hatte. Die Gesamtproduktion war bis zu diesem Zeitpunkt auf etwa 2 t angewachsen, die dem Heereswaffenamt zur Verfügung standen. Wie schon aus dem oben zitierten *Smyth-Report* hervorgeht, hatte man sowohl in den Vereinigten Staaten als auch in England Nachrichten darüber erhalten, Deutschland sei außerordentlich stark an der Lieferung von Deuterium aus Norwegen interessiert, und hatte daraus ganz richtig geschlossen, daß dieses für Uranbrenner eingesetzt werden solle. Infolgedessen wurden die Anlagen zur Herstellung von schwerem Wasser in Norwegen 1943 durch ein alliiertes Sprengkommando und einen Luftangriff zerstört. Tatsächlich waren die von den deutschen Stellen eingebauten Austauschanlagen nur wenige Monate in Betrieb, als die gesamte norwegische Deuteriumproduktion durch diese Maßnahmen im November 1943 zum Erliegen kam. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß sich bis zum Ende des Krieges im Jahre 1945 die Deuteriumvorräte in Deutschland praktisch nicht weiter vermehrten und beim letzten Versuch in den Frühjahrsmonaten 1945 tatsächlich nicht mehr als etwa $2^1/_2$ t schweres Wasser

zur Verfügung standen, so muß man diese Auslöschung der Deuteriumproduktion in Norwegen als eine der wesentlichen Ursachen dafür ansehen, daß Deutschland bis Kriegsende nicht zum selbsterregten Reaktor kam. Wenn amerikanische Darstellungen der Vorgänge auf dem Urangebiet in Deutschland zu anderen Schlußfolgerungen gelangten, so sind sie unrichtig. Bei einer Monatsproduktion von 300 l D_2O hätten wir bereits mit Ablauf des Jahres 1943 über eine Menge von schwerem Wasser verfügt, die mit Sicherheit ausgereicht hätte, einen überkritischen Reaktor zu bekommen.

Freilich hatten wir trotzdem noch im November 1943 eine echte Chance, größere Mengen von schwerem Wasser zu erhalten. Bei der Zerstörung der norwegischen Anlagen waren nämlich die mit Deuterium angereicherten, aber noch nicht hochkonzentrierten Wasservorräte nicht verlorengegangen. Um sie sicherzustellen, fuhr ein deutsches Heereskommando nach Rjukan. Unglückliche Zufälle verhinderten in diesem Augenblick die Beschaffung geeigneter Lastwagen. So beschloß man, den Transport per Schiff durchzuführen. Es war ein normales Passagierschiff, das auch Lasten beförderte. Als die deutschen Begleiter dieses Transportes das Schiff besteigen wollten, gab ihnen einer der norwegischen Physiker den Rat, doch lieber mit dem Auto um den Fjord herumzufahren, um schneller nach Oslo zu gelangen. Dies rettete ihr Leben. Mitten auf dem Fjord gab es eine große Explosion und das Schiff versank mit seiner Ladung und seiner norwegischen Besatzung. Von den Deutschen kam keiner zu Schaden, wohl aber versank jenes letzte schwere Wasser in den Fluten, das uns ermöglicht hätte, noch vor Ablauf des Krieges einen selbsterregten Reaktor in Betrieb zu nehmen.

Noch vor dem Ende der Deuteriumproduktion in Norwegen waren in Deutschland an verschiedenen Stellen Untersuchungen eingeleitet worden mit dem Ziel, eigene Erzeugungsanlagen aufzubauen. Sie sollten in Verbindung mit der Großindustrie an Stätten der Wasserstoffgroßproduktion eingerichtet werden. So bemühten sich HARTECK in Hamburg, CLUSIUS in München, GEIB in Leuna um eine Anreicherung des Deuteriums. Wenn auch diese Versuche in vieler Hinsicht aussichtsreich waren, erforderten sie doch in jedem Falle den Aufbau großer technischer Zusatzanlagen zu den vorhandenen Wasserstofferzeugern, eine Aufgabe, die sich bis zum Kriegsende aber nicht mehr bewältigen ließ.

Erst jetzt, im Jahre 1957, wird das schon von CLUSIUS während des Krieges ausgearbeitete Verfahren realisiert, um den kommenden Bedarf der Bundesrepublik decken zu helfen. Das Prinzip dieses Verfahrens besteht darin, Wasserstoffgas bei tiefen Temperaturen zu verflüssigen und wieder zu verdampfen. Dieser Prozeß läßt in der zurückbleibenden Flüssigkeit eine Anreicherung des Deuteriums entstehen, die bei geeigneter Leitung des Destillationsverfahrens zu einer Konzentrierung von Deuterium führt.

Sowohl im Hinblick auf die Möglichkeit, eine Atombombe zu bauen, als auch für den Betrieb von Reaktoren mit leichtem Wasser war schon sehr bald der Wunsch nach angereichertem Uran 235 entstanden. Da jedoch das Uran 235 nur mit der geringen Häufigkeit von 0,7 % im natürlichen Uran vorhanden ist, andererseits aber die Isotope U 235 und U 238 einen Massenunterschied von 1,3 % besitzen, war von vornherein klar, daß es verhältnismäßig schwierig sein werde, geeignete Anreicherungsverfahren für das U 235 zu finden. Zwar war in den Anfängen der dreißiger Jahre von dem Berliner Physiker HERTZ ein Verfahren ausgearbeitet worden, das zur Trennung der Neon-Isotope sehr gut geeignet war. Die Anwendung des HERTZschen Verfahrens auf die Uranisotope führte aber zu außerordentlich kostspieligen Apparaturen. Man mußte deshalb nach wirtschaftlicheren und wirksameren Verfahren suchen.

Nun hatten im Jahre 1939 die Münchener Physikochemiker CLUSIUS und DICKEL ihr Trennrohrverfahren angegeben, das sich für die Isotopenanreicherung bei anderen Gasen ausgezeichnet bewährt hatte. Da dieses in Aufbau und Betrieb außerordentlich einfach war und sehr effektiv arbeitete, lag es nahe, auch für die Uranisotope hierauf zurückzugreifen.

So wurden schon Ende 1939 Verabredungen durch das Heereswaffenamt getroffen, das CLUSIUS-DICKEL-Verfahren in Heidelberg und in Hamburg durch die Physiker FLEISCHMANN und GROTH hierfür zu erproben. Die Ergebnisse dieser Versuche waren insofern enttäuschend, als sie gleichlautend schon im Jahre 1941 zur Feststellung führten, daß eine Isotopentrennung beim Uran-Hexafluorid nach CLUSIUS-DICKEL nicht möglich sei.

Zufälligerweise besitzen die Moleküle des Uran-Hexafluorids nämlich Eigenschaften, die die von CLUSIUS und DICKEL an anderen Gasen beobachtete Trennrohrwirkung nicht zustande kommen lassen. Es blieb nichts weiter übrig, als nach neuen Verfahren Ausschau zu halten, die entweder mit Uran-Hexafluorid oder anderen uranhaltigen Substanzen eine Isotopentrennung erlaubten. Hierfür boten sich zu dieser Zeit zwei neue Verfahren an. Seit langem war schon bekannt, daß man isotope Gase trennen kann, indem man diese in schnell rotierenden Zylindern den Wirkungen der Zentrifugalkräfte aussetzt. So wurde von der Hamburger Arbeitsgruppe HARTECK, GROTH und SUHR im Herbst 1941 der Aufbau einer Ultrazentrifuge begonnen, mit der es 1943 gelang, eine Anreicherung des Uranisotops 235 um etwa 5 % zu erzielen.

Technische Schwierigkeiten beim Betrieb dieser Apparaturen erschwerten den Entschluß, sie sofort in größeren Mengen zu produzieren. Bis Kriegsende waren deshalb nur einige hundert Gramm an angereichertem Uran vorhanden.

Als zweites Verfahren wurde 1941 eine Trennmethode vorgeschlagen, die nach ganz anderen Prinzipien arbeitete. Die Methode besteht darin, Atomstrahlen des zu trennenden Isotopengemisches her-

zustellen und durch ein System rotierender Blenden zu senden. Leichtere Isotope passieren das Blendensystem, während die schweren Isotope wenigstens zum Teil am Durchtritt gehindert werden.

Dieses von BAGGE angegebene und als Isotopenschleuse bezeichnete Verfahren erlaubte, seine Leistungsfähigkeit theoretisch leicht abzuschätzen. Auf Vorschlag von HARTECK erfolgte der Aufbau dieser Apparatur im Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin und lieferte bereits ein Jahr später im Falle der Silberisotope einen Trenneffekt, der dem theoretisch vorausberechneten entsprach. Er führte zu einer Verschiebung des Häufigkeitsverhältnisses der beiden Silberisotopen 107 und 109 um 5 %.

Man hatte für diese ersten Untersuchungen Silber und nicht Uran gewählt, weil dieses leichter verdampft als Uran. Der Beschluß, eine Apparatur für die Trennung der Uranisotope aufzubauen, fiel in eine Zeit, in der der Bombenkrieg bereits seine ersten Auswirkungen zeigte. Tatsächlich wurden die Zeichnungen und die später aufgebaute Apparatur Opfer von Bombenangriffen. Die wiederaufgebaute Apparatur war gerade wieder betriebsbereit und hatte die ersten Gramme an Uran-Hexafluorid verarbeitet, als sie von den alliierten Truppen abgebaut und zerstört wurde.

So war bei Kriegsende keine Anlage für längere Zeit in Betrieb, die größere Mengen an angereicherter Kernbrennsubstanz produziert hatte oder hätte produzieren können. Da man unter allen Umständen in Deutschland den Weg einer rasch und ökonomisch arbeitenden Isotopentrennanlage gehen wollte, hat man es unterlassen, die ‹sichere› HERTZsche Gasdiffusionsmethode überhaupt auch nur zu probieren.

Für die am Uranprojekt arbeitenden Physiker war es nach Kriegsende deshalb eine große Überraschung, daß in den USA ausgerechnet mit der Gasdiffusionsmethode die Herstellung des reinen Uran 235 durchgeführt worden war. Man hatte geglaubt, diese werde wegen ihrer Kostspieligkeit nicht zum Einsatz kommen. Die Amerikaner waren freilich in einer ganz anderen Lage als wir Deutschen. Während man auf der anderen Seite des Ozeans ungestört durch unmittelbare Kriegseinwirkungen seiner Arbeit und seinen Plänen nachgehen konnte, war man hier in einen Krieg verwickelt, der alle Reserven beanspruchte.

‹Element 94› und die Atombombe

Die Versuche, eine Isotopentrennung beim Uran durchzuführen, haben noch eine andere, freilich unbeabsichtigte Behinderung während des Krieges erfahren, die im folgenden kurz besprochen werden möge.

Schon im Jahre 1940 wies VON WEIZSÄCKER darauf hin, daß beim Betrieb eines Uranbrenners durch Neutronen-Einfang beim Isotop 238 eine Substanz entstehen müsse, die sich durch β-Zerfälle in das Element der Ordnungszahl ‹93› (Neptunium genannt) und weiter in ‹94› (Plutonium) verwandeln solle. Dieser Stoff müsse ähnliche Eigen-

schaften besitzen wie der Kernbrennstoff Uran 235. Durch diesen Hinweis wurde eine Möglichkeit angedeutet, die Isotopentrennung beim Uran zu vermeiden. Sowohl das Element ‹93› als das durch Zerfall daraus hervorgehende Element ‹94› unterscheiden sich chemisch vom natürlichen Uran und können daher mit chemischen Methoden vom Uran abgetrennt werden. Es konnte sogar wahrscheinlich gemacht werden, daß diese Substanz ähnlich wie das U 235 als Kernsprengstoff brauchbar ist. Auch darauf wurde schon zu dieser Zeit deutlich hingewiesen. Wenn auch damals keine in die Einzelheiten gehende Theorie der Atombombe in Deutschland entwikkelt wurde, wie dies zur gleichen Zeit in England geschah, so ist doch festzustellen, daß die prinzipielle Möglichkeit einer Atombombe zweifellos erkannt war. Wir zitieren zu diesem Zweck abermals den Bericht des Heereswaffenamtes, aus dem wir schon das Schlußwort wiedergegeben haben und der am 26. Februar 1942 den zuständigen Stellen und einzelnen Persönlichkeiten zugeleitet wurde. Auf Seite 12 dieses Berichtes heißt es wörtlich:

‹*b) Sprengstoff*

Die störende Wirkung von Uran 238 nimmt mit wachsender Temperatur zu. Ein Sprengstoff würde dann höchstens sehr kleine Mengen von U 238 enthalten dürfen. Außer der vollständigen Isotopentrennung, die grundsätzlich durchführbar, aber technisch sehr schwierig ist, kennen wir heute theoretisch einen zweiten Weg zur Herstellung eines Sprengstoffes, der aber erst erprobt werden kann, wenn eine Wärmemaschine läuft. Aus U 238 bildet sich nämlich durch die Absorption von Neutronen ein Stoff (Element 94), der noch leichter spaltbar sein muß als Uran 235. Da dieser Stoff chemisch vom Uran verschieden ist, muß man ihn aus dem Uran einer stillgelegten Maschine einfach abtrennen können, doch kennen wir heute weder die Menge, in der er entsteht, noch seine Eigenschaften genau genug, um eine ganz sichere Voraussage zu machen.

Da sich in jeder Substanz einige freie Neutronen befinden, würde es zur Entzündung des Sprengstoffs genügen, eine hinreichende Menge (vermutlich etwa 10 bis 100 kg) räumlich zu vereinigen.›

Es scheint uns wichtig zu sein, gerade diese Stelle des Berichtes wörtlich zu zitieren, da von der nach dem Zusammenbruch in Deutschland arbeitenden ‹*Alsos-Mission*› anders lautende Berichte ausgegeben worden sind, die in dem Buch von S. Goudsmit ‹*Alsos*› ihren Niederschlag finden. Die oben zitierten Zeilen sagen mit unmißverständlicher Klarheit und Deutlichkeit, daß man in der Tat von der Realisierbarkeit einer Atombombe wußte und daß man sowohl das Uran 235 als auch das Element 94 als Sprengstoff benutzen kann. Unter dem Eindruck dieser Möglichkeit machten sich einige maßgebende deutsche Physiker den Standpunkt zu eigen, es sei nicht nötig, die direkte Isotopentrennung besonders zu fördern und zu beschleunigen. Nach dem Anlauf der Uranbrenner stehe bald ausreichend Plutonium zur Verfügung, das praktisch als Ersatz für das Uran 235 betrachtet werden könne. Wenn diese Einstellung auch

nicht zu einer Stillegung aller Versuche zur Isotopentrennung beim Uran führte, so bedeutete sie für die an dieser Aufgabe Arbeitenden zumindest eine gewisse Lähmung.

Die Schichten- und Würfelversuche von 1942 bis Kriegsende

Während die Amerikaner im Frühjahr 1942 den Beschluß faßten, die Arbeiten am Uranbrenner nunmehr in ganz großem Stile durchzuführen und daraufhin am 2. Dezember desselben Jahres in Chicago unter FERMIS Leitung den ersten Kernreaktor zur Selbsterregung brachten, liefen die Versuche in Deutschland nach den Beschlüssen des Reichsforschungsrates im gleichen bescheidenen Umfange weiter wie bisher.

Die zunächst in Leipzig durchgeführten Versuche wurden in Berlin weiter betrieben. Man variierte die Schichten und erhielt unterschiedliche Produktionskoeffizienten für die Neutronen. Wenn man die Produktionskoeffizienten für die verschiedenen Schichtenanordnungen aus den Jahren 1942/43 und 1944 verfolgt, so weisen die Zahlenwerte noch erhebliche Schwankungen auf. Der Leipziger Versuch L 4 von 1942 hatte z. B. den Produktionskoeffizienten + 23,5, der erste Berliner Versuch vom Jahre 1944 + 91, der zweite + 145, der dritte + 118, der vierte + 95 und der fünfte schließlich + 145.

Die Zahlenwerte dieser Produktionskoeffizienten sind charakteristisch für die Möglichkeit, selbsterregte Reaktoren zu erhalten. Ein negativer Produktionskoeffizient bedeutet, daß keine Selbsterregung zustande kommt. Bei kleinem positiven Produktionskoeffizient (etwa kleiner als + 50) kann der so gebaute Reaktor zwar schon überkritisch werden, man benötigt aber sehr große Substanzmengen. Größere Produktionskoeffizienten erlauben hingegen, verhältnismäßig kleine Reaktoren aufzubauen. Man sieht, daß die Zahlenwerte für die Produktionskoeffizienten dieser verschiedenen Schichtenanordnungen außerordentlich hin- und herschwanken und noch beim Versuch B 7 in Berlin, Ende 1944, kaum größer waren als zu Beginn des Jahres 1942.

Die von der Berliner Gruppe unabhängige Gottower Gruppe des Heereswaffenamtes war schon im Jahre 1943 zu wesentlich besseren Anordnungen gekommen, indem sie Uranmetallwürfel in einer großen, mit schwerem Wasser gefüllten Aluminiumkugel aufhängte. Dies erwies sich als sehr günstig. Der Produktionskoeffizient stieg auf 180 und bei den weiteren Anordnungen sogar auf 215. Beim 4. Gottower Versuch mit 240 Uranwürfeln von 2,2 kg Gewicht und 525 l D_2O war die Zahl der Neutronen außerhalb der eigentlichen Urananordnung bereits um den Faktor 2,1 größer als die der Meßquelle in ihrem Zentrum.

Die Würfelversuche mit positiver Neutronenproduktion von 1943 bis 1945

Wie bereits erwähnt, ergab der in den Wintermonaten 1941/1942 durchgeführte Leipziger Versuch zum erstenmal eine über die Meßfehlergrenze hinausgehende positive Neutronenproduktion. Selbst wenn man hier noch hätte Bedenken hegen können, erbrachte jedoch der zweite Gottower Versuch ohne jeden Zweifel eine positive Neutronenvermehrung. Dieser deutsche Versuch wurde mit Uranmetallwürfeln und schwerem Wasser als Bremssubstanz gemacht und ergab einen Produktionskoeffizienten + 180. Die Ungenauigkeit in der Ermittlung dieses Koeffizienten war so klein, daß bei Berücksichtigung der möglichen Fehlerquellen das Ergebnis jedenfalls zwischen den Zahlenwerten 150 und 210 liegen mußte.

Unter diesen Umständen konnte es keinem Zweifel mehr unterliegen, daß die Vergrößerung dieser Anordnung auf jeden Fall zum selbsterregten Reaktor führen mußte. Es war nur noch eine Frage der hinreichenden Vermehrung der Uran- und Schwerwassermenge. Der letzte Gottower Versuch vom Jahre 1943 zeigte folgende Anordnung: In einer Hohlkugel von 102 cm Durchmesser befanden sich das schwere Wasser und das Uran. Die Kugel war von einem Paraffinmantel von etwa 50 cm Wandstärke, der seinerseits in einem großen Kessel untergebracht war, umgeben. An dem Paraffinpfropfen waren die Uranwürfel mit Hydronaliumdrähten aufgehängt.

Nach der Verlagerung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik von Berlin nach Hechingen-Hohenzollern wurde um die Jahreswende 1944/45 in Haigerloch ein letzter Versuch vorbereitet, der mit noch größeren Mengen an Uran und schwerem Wasser ausgestattet war. Die Haigerlocher Anordnung war insofern günstiger, als sie anstelle des Paraffinmantels einen Graphitrückstrahlmantel besaß, der bessere Reflektionseigenschaften für die Neutronen besitzt. Sie hatte in anderer Hinsicht aber den Nachteil, daß man aus konstruktiven Gründen die Gesamtheit der Uranwürfel und des schweren Wassers in einem zylindrischen Gefäß unterbrachte, einem Aluminium-Kessel von 210 cm Durchmesser und 210 cm Höhe. Insgesamt standen zu jener Zeit 1,5 t Uran und etwa 2 t schweres Wasser zur Verfügung. Wenn auch der mit diesem Aufbau erzielte Produktionskoeffizient von + 215 den des dritten Gottower Versuchs nicht überstieg, so war infolge der größeren Materialmenge doch eine Gesamtvermehrung der Neutronen um den Faktor 67 erfolgt. Das bedeutete, daß für 100 von der Meßquelle ausgehende Neutronen 670 solche Teilchen an der Oberfläche des Reaktors gemessen worden sind. Damit war man schon sehr nahe an die kritische Grenze der Selbsterregung gekommen.

Eine Vermehrung der Materialmenge auf etwa das Eineinhalbfache hätte bei gleichem geometrischen Aufbau unter sonst identischen Bedingungen die Anordnung überkritisch werden lassen.

Rechnet man heute die Haigerlocher Anordnung statt für den damals gewählten zylindersymmetrischen Aufbau für die kugelsymme-

trische Gestalt durch, so ergibt sich, daß mit den vorhandenen Mengen an Uran und schwerem Wasser und mit Graphit als Rückstrahlmantel dieser Reaktor bereits hätte überkritisch werden können.

Rückschauend muß man feststellen, daß in Deutschland seit 1942 die Realisierungsmöglichkeit eines selbsterregten Uranbrenners erwiesen war und daß alle weiteren Versuche dies nur bestätigten.

4. Aus dem Internierungs-Tagebuch

Die Gefangennahme der deutschen Physiker bei Kriegsende 1945

Mit dem Einmarsch der alliierten Truppen in Deutschland fanden die deutschen Uranversuche ihren Abschluß. Schon bei der Einnahme Straßburgs durch amerikanische Truppen im Herbst 1944 war den Alliierten bekanntgeworden, in welchem Umfang die deutschen Physiker mit Uranarbeiten beschäftigt waren. Sie hatten in Straßburg im physikalischen Institut Protokolle gefunden und konnten so in den Frühjahrsmonaten 1945 sehr zielbewußt die Zentren der deutschen Uranarbeit ansteuern, die dort arbeitenden Physiker vernehmen und dann einen Teil von ihnen gefangennehmen. Während auf der einen Seite die Gottower Gruppe des Heereswaffenamtes schon seit 1943 sich nach Stadtilm verlagert hatte und sich in den Monaten März und April 1945 auf höchsten Befehl nach Süddeutschland zurückzog, war das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik von Berlin nach Hechingen und Haigerloch verlagert worden. Die Gottower Gruppe fiel auf der Reise den amerikanischen Truppen in die Hände, während die Hechingen-Haigerlocher Gruppe an ihrem Tätigkeitsort gefaßt wurde. Die Besetzung von Hechingen und Haigerloch verlief unter recht dramatischen Umständen und führte schließlich zur Gefangennahme der 10 deutschen Physiker, die für fast ein Jahr wenige Tage in Deutschland, dann in Frankreich, Belgien und schließlich in England interniert waren, um im März 1946 entlassen zu werden.

Im folgenden geben wir Auszüge aus Tagebuch-Aufzeichnungen aus dieser Zeit in der Form wieder, wie sie in jenen Monaten unmittelbar entstanden sind [1]. Es ist dabei interessant zu sehen, unter welchen Eindrücken die 10 deutschen Physiker standen, als sie diese Gefangenschaft erlebten. Nicht weniger als drei Nobelpreisträger von internationalem Rang, die Professoren Otto Hahn, Max von Laue und Werner Heisenberg, gehörten zu den Gefangenen, ferner der letzte Leiter des deutschen Uranvorhabens in den Kriegsjahren

[1] Wir veröffentlichen dieses Tagebuch so, wie es seinerzeit geschrieben wurde. Sein besonderer Reiz liegt in der Verknüpfung umwälzender wissenschaftlicher Ereignisse mit außergewöhnlichen menschlichen Situationen, mit der eine geistige Elite, die man im allgemeinen nur aus ihren wissenschaftlichen Leistungen kennt, einmal im Alltag gezeigt wird. Um die Unmittelbarkeit dieser Aufzeichnungen nicht zu zerstören, haben wir von Streichungen abgesehen und auch für das ganze Geschehen unwesentliche Nebensächlichkeiten stehengelassen.

von 1944 und 1945, Prof. WALTHER GERLACH, und sein Mitarbeiter aus dem Heereswaffenamt, Oberreg.-Rat Dr. KURT DIEBNER, ebenso Prof. HARTECK von der Universität Hamburg, der sich schon um den Beginn der Arbeiten ab 1939 besonders bemüht hatte. Hinzu trat noch eine Gruppe jüngerer Physiker, die als Abteilungsleiter und Assistenten am Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik tätig waren: Prof. v. WEIZSÄCKER, Dr. KORSCHING, Dr. WIRTZ und Dr. BAGGE, der Verfasser des Tagebuches. Die Genannten waren nicht vom ersten Tag der Gefangenschaft an beisammen, sondern trafen im Laufe der Zeit bei der ständig anwachsenden Gruppe ein. Wie dies zuging, möge dem Tagebuch entnommen werden.

Das Tagebuch

Sonntag, 22. April 1945
Einmarsch der französischen Truppen in Hechingen. Ich bin gerade noch im Institut, während die Truppen gegen 16 Uhr von der Friedrichstraße her anmarschieren. Im Eilmarsch geht es nach Hause. Während von der Neustraße her die MG's der Panzer knattern, komme ich glücklich in meiner Wohnung an. Der Abend verläuft ruhig.

Montag, 23. April 1945
Ein englisch-amerikanisches Spezialkommando trifft in Hechingen ein. Zwei amerikanische Offiziere kommen in unser Haus, fragen nach mir und verlangen alle meine Manuskripte. Nachdem sie sich vergewissert haben, daß wir keine Waffen besitzen, suchen und erhalten sie, was sie wünschen, und ziehen dann wieder ab.

Dienstag, 24. April 1945
Wir verlassen kaum das Haus. Die Marokkaner der französischen Truppen sind sehr gefürchtet. Am Abend gelingt es mir, unter Hinweis auf den Befehl der beiden amerikanischen Offiziere, daß am Inhalt des Hauses bis zum Eintreffen neuer Weisungen nichts geändert werden dürfe, vier Marokkaner abzuweisen, die ins Haus kommen wollen.

Mittwoch, 25. April 1945
Ein Tag des Wartens. Gartenarbeiten, abends großes Brotbacken.

Donnerstag, 26. April 1945
Am Nachmittag um 16 Uhr werde ich ins Institut geholt und von Prof. GOUDSMIT vernommen. Außerdem muß ich das Herz der Isotopenschleuse ausbauen und mithelfen, es in eine Kiste zu verpacken. Einer der Männer bei dieser Unternehmung sagte achselzuckend: ‹*C'est la guerre, Monsieur!*› Man merkte ihm an, daß ihm diese Maßnahme peinlich war. Er war Amerikaner.

Gegen 19 Uhr verlasse ich das Institut. Ich bin nur wenige Minu-

ten zu Hause, da kommt ein amerikanischer Offizier und eröffnet mir: ‹Sie wissen doch, daß Sie morgen früh um 8 Uhr von hier abreisen? Bitte, packen Sie Wäsche und das Notwendigste für eine Reise ein, die etwas länger dauern wird. Richten Sie sich auf einige Wochen ein. Ihre Frau und Ihre Kinder bleiben hier.›

Meine Versicherung, daß ich bereit sei, die Arbeit an der Isotopenschleuse nicht mehr weiter zu verfolgen, ändert nichts an dieser Mitteilung. Er sagt nur, daß meine Abreise von diesem Entschluß unabhängig sei.

Freitag, 27. April 1945
Kurz nach 8 Uhr werde ich im Wagen abgeholt. Der Abschied ist kurz und herzlich. Es gibt im letzten Augenblick plötzlich viel Tränen und ich kann mich selbst nur sehr schwer beherrschen. Kurz nach 9 Uhr setzt sich eine lange Wagenkolonne vom Institut aus in Richtung Heidelberg in Marsch mit Prof. HAHN, Prof. VON LAUE, Prof. VON WEIZSÄCKER, Dr. WIRTZ, Dr. KORSCHING und mir. Ankunft in Heidelberg um 16 Uhr, Unterbringung in einem Hause am Philosophenweg. Man hat einen herrlichen Blick auf die Stadt und den Neckar. In der Ferne erkennt man am Horizont die Türme des Doms zu Speyer.

Sonntag, 29. April 1945
Zusammen mit WIRTZ und v. WEIZSÄCKER zu GOUDSMIT bestellt. Wir werden einzeln über verschiedene Dinge ausgefragt. Hauptfrage: ‹Wo ist DIEBNER?› Keiner weiß es.

Montag, 30. April 1945
Gegen Abend wird uns eröffnet, daß wir am nächsten Tag Heidelberg mit geheimgehaltenem Ziel verlassen.

Dienstag, 1. Mai 1945
Um 8 Uhr Aufbruch mit drei Autos Richtung Frankreich über Ludwigshafen, Autobahn Kaiserslautern, Metz, Verdun, Gravelotte, Valmy. 19 Uhr Ankunft in Reims. Unterbringung in der Rue Gambetta 78. Von meinem Zimmer kann ich die Kathedrale von Reims sehen. Wir werden sehr scharf bewacht. Maschinenpistolen starren uns von allen Seiten an.

Mittwoch, 2. Mai 1945
Wir erhalten Erlaubnis, im übersichtlichen Teil des Hausgartens zu promenieren. Allerdings müssen wir eine schriftliche Ehrenerklärung abgeben, daß wir keinen Fluchtversuch unternehmen.

Donnerstag, 3. Mai 1945
Nichts Besonderes. Skatabend.

Freitag, 4. Mai 1945
Tristes Wetter, kaltes Haus. Kamin wird zur Heizung für die Stube benutzt. Das ganze Haus wird ausgeräuchert, man friert trotzdem.

Sonnabend, 5. Mai 1945
Ein englischer Major teilt uns mit, daß wir in der kommenden Woche weiterbefördert werden, Ziel wieder unbekannt. Außerdem werden noch zwei Deutsche (wer?) angekündigt. Wir erhalten einen deutschen Koch und einen deutschen Kellner, die beide Kriegsgefangene sind.

Sonntag, 6. Mai 1945
Es wird langsam wärmer. Angeblich soll CHURCHILL in der letzten Nacht in Reims gewesen sein. Ende des Krieges? Abends lange Diskussionen mit unserm Major über die Zukunft Deutschlands.

Montag, 7. Mai 1945
Um Mittag erfahren wir, daß die Abreise auf 16 Uhr festgesetzt ist. Im Flugzeug? Es wird uns mitgeteilt, daß heute nacht um 3 Uhr ein Waffenstillstandsvertrag zwischen den Alliierten und Deutschland unterzeichnet wurde. *Ort Reims!* Wunderliches Spiel des Zufalls, daß auch wir gerade in Reims sind. 19 Uhr Flug bei herrlichem Wetter in einer Dacota von Reims über Paris nach Versailles. Dort werden wir in ein altes Schloß gebracht, das sich in einem verwahrlosten Zustand befindet. Wir sechs erhalten zusammen mit den zwei deutschen Kriegsgefangenen eine Etage zugewiesen. Leere Zimmer, kahle schmutzige Wände, ramponierte Türen. Die Betten sind Pritschen einfachster Konstruktion, kein Licht und überall Maschinenpistolen. Nachtmahl. Jeder erhält eine amerikanische *Supper*-Pakkung. In einem Dämmerzustand zwischen Träumen und Wachen vergeht die Nacht.

Dienstag, 8. Mai 1945
Morgens: *Breakfast*-Packung, Typ K. Man erhebt sich langsam und fragt sich, warum das alles so gekommen ist. Im übrigen packt uns die Wut über die schlechte Behandlung. Als ein englischer Hauptmann kommt, beschwert sich Prof. HAHN. Das wirkt. Unser Major wird für den Nachmittag angekündigt und erscheint auch wirklich mit vielen Entschuldigungen, aber besser wird es zunächst nicht. Um 3 Uhr ertönen die Schiffssirenen. Gegen Abend und fast während der ganzen Nacht klingt uns französische Fanfarenmusik aus Versailles entgegen. Als wir am späten Nachmittag eine Stunde in den Schloßpark gelassen werden, stehen unsere beiden Bewacher stets mit dem rechten Zeigefinger am Abzug ihrer MP's dabei und richten drohend die Läufe auf uns. Besonders ein mongolisch aussehender Soldat meint es sehr ernst mit uns. Vielleicht ein Philippine? Mit Einbruch der Dunkelheit ziehen wir uns auf unsere Pritschen zurück. Man schläft nicht gut.

Mittwoch, 9. Mai 1945
Ein trauriger Morgen, eigentlich weiß man nicht recht, warum man überhaupt aufstehen soll. Es gibt keinen Tisch und keinen Stuhl in der ganzen Etage. Hat es überhaupt einen Sinn, sich anzuziehen,

denn man muß sich ja schließlich in Kleidern wieder auf die Pritsche legen. Um 11 Uhr werden wir für eine Stunde in den Garten geführt. Die uns zugewiesene Fläche ist 60 qm groß. Der Bewacher hat wieder den Finger am Abzugbügel und läßt freundlich den Lauf von einem zum andern hin und her gleiten. Welch befreiender Anblick!

Der Major kommt und mit ihm jener freundliche, jugendliche amerikanische Major, der uns schon in Hechingen betreute. Er bedauert, daß wir hier an diese gottverlassene Stelle kamen und verspricht bis spätestens morgen eine Änderung. Wir werden sehen, ob er uns hilft. Am Nachmittag ist es schwül und warm. Einer liest Zeitung, einer in einem Kernphysikbuch, einer schläft, jeder aber auf seiner Pritsche, faul und dösig. Langweilig ist's zum Steinerweichen. Klaviergeklimper klingt zu uns herüber, sonst aber ist nichts zu hören. Eine kleine Episode: Als wir auf unserm 60 qm Platz im Park stehen, kommen für kurze Zeit zwei höhere englische Offiziere zu uns. Der eine, ein älterer Mann, geht auf Prof. von Laue zu und fragt: ‹*You are the famous Prof. v. Laue?*› Alles lacht. Na ja, was hätte er auch sagen sollen. 20 Uhr: Große Überraschung. Der Major kommt und berichtet: ‹Ein Herr Heisenberg kommt und noch ein weiterer Herr.› Wenige Minuten später erscheinen beide. Der zweite Herr war Dr. Diebner. Großes Hallo bei der Begrüßung und dann begann das Erzählen und der Austausch ‹modernster› Erfahrungen. Heisenberg und Diebner wurden am 2. Mai gefangengenommen.

Um Mitternacht geht man zu Bett. Auch da erzählt man sich noch weiter, bis Hahns Stimme von nebenan Ruhe gebietet: ‹Herrschaften, es ist doch schon 12 Uhr!›

Donnerstag, 10. Mai 1945

8 Uhr allgemeines Aufstehen. Es gibt zum ersten Mal warmen Kaffee. Der Major hat gestern abend mitgeteilt, daß wir heute voraussichtlich wieder nach Reims zurückfliegen. Wir kämen wieder in unser altes Haus. Irgendwann erscheint dann der Major und erklärt, daß wir vorläufig doch nicht fortkommen. Schön, damit müssen wir uns abfinden. 21.30 Uhr. Auf eine halbe Stunde dürfen wir in den Park, 400 m-Lauf, Weitsprung und Weitwurf.

Freitag, 11. Mai 1945

Wir werden geweckt und müssen Kaffee empfangen. Die allgemeine miese Stimmung, die schwer auf die Gemüter drückt, veranlaßt mich, ein noch nicht benütztes Zimmer zu räumen, einen dort befindlichen Schrank zu demontieren und dann dieses Zimmer zu beziehen. Ich bin jetzt für mich allein. Sogar einen provisorischen Schreibtisch kann ich mir aufstellen. Wenn wir hier bleiben, kann ich vielleicht sogar wieder rechnen!

11.30 Uhr teilt uns der Major mit, daß wir um 15 Uhr umquartiert werden. 15 Uhr. Diesmal hat's geklappt! Wir werden in drei Jeeps von Versailles abgeholt und in die Villa Argentina in Le Vésinet, Département Seine-Oise im Westen von Paris gebracht. Eine pompö-

se aber schon unbewohnte Villa eines beliebig reichen Argentiniers. Kaum sind wir eingetroffen, erweitert sich unser Kreis abermals. HARTECK aus Hamburg ist plötzlich da. Er war bis zum letzten Augenblick in Hamburg und wurde erst nach dem Zusammenbruch festgenommen. Am Abend sitzen wir zum ersten Mal wieder an einem Tisch. Man kommt sich vor wie in einem Märchen.

Sonnabend, 12. Mai 1945
Unser Leben nimmt wieder Reimser Formen an. Um 8.45 Uhr wird gefrühstückt. Um 13 Uhr gibt es Mittagessen. Unsere Bewachung ist zurückgegangen. Gegen das schriftliche Ehrenwort, keinen Fluchtversuch zu unternehmen, läßt man uns die Freiheit, den Garten und die Villa nach Belieben zu betreten. Die Maschinenpistolen sind aus unserem Gesichtskreis verschwunden. Nur am Eingang zum Garten steht eine Wache. Sie hat sehr scharfe Anweisungen. Das ist auch klar. Neugierige Franzosen versuchen herauszubekommen, wer wir eigentlich sind.

Sonntag, 13. Mai 1945
Im Laufe des Nachmittags wird ein Brief HEISENBERGS an GOUDSMIT abgefaßt, der den Zweck hat, etwas über das Schicksal unserer Familien zu erfahren. Der amerikanische Major war hier und erklärte uns auf unsere Fragen bezüglich unserer Familien, daß nichts Besonderes unternommen würde, diese also an ihren Aufenthaltsorten verblieben seien, und daß Hechingen jetzt rein französische Besatzung habe. Die Nachricht löste bei einigen Beteiligten erhebliche Besorgnis aus.

Montag, 14. Mai 1945
Eine *Associated Press*-Meldung sagt, daß die Russen bis zur Linie Hannover-Hersfeld besetzen wollen. Unser englischer Major bagatellisierte die Bedeutung dieser Nachricht.

Dienstag, 15. Mai 1945
Ein Tag ohne bemerkenswerte Besonderheiten, jedenfalls am Morgen. Am Nachmittag erzählt Prof. v. LAUE über seinen physikalischen Werdegang. Man erfährt manche interessante Besonderheiten aus der Geschichte der Röntgenstrahlen-Interferenzen, wie er um die Durchführung seines Versuches kämpfte, die ausbleibende Anerkennung durch SOMMERFELD, die Schwierigkeiten bei den Universitätsbehörden. Am Abend Skat. Dann eine bewegte Diskussion über das ‹*Not fraternising*› des Generals EISENHOWER. Unser englischer Major teilt auf Befragen mit, daß wir vorerst keine Post von unseren Familien erhalten dürfen.

Mittwoch, 16. Mai 1945
Es wird wärmer und wärmer. Am Abend steigert sich die Wärme in unserem Schlafzimmer zur Gluthitze.

Man munkelt, daß wir nach Belgien kommen. Ein englischer Ma-

jor, der bei der Besetzung von Hechingen zugegen war, ist gestern kurz aufgekreuzt und wollte einiges von Herrn DIEBNER wissen. Er soll versprochen haben, daß er in London dafür sorgen will, uns eine reguläre Möglichkeit zum Briefwechsel mit unseren Familien zu verschaffen.

Plötzlich bekommen wir *Physical Reviews*, alles atmet auf. Ich habe mit der Niederschrift einer Arbeit begonnen. Am Abend: es bilden sich Bridge- und Skatrunden. Man liest Zeitungen oder zieht sich auf sein Zimmer zurück.

Sonnabend, 19. Mai 1945
Einen Augenblick sah es so aus, als würden wir auf knappe Kriegsgefangenenkost gesetzt. Der ganze Kreis war auch damit einverstanden. Ungeheuren Eindruck machte die Nachricht aus ‹*Stars and Stripes*› daß die Russen in Berlin am 25. 5. die Staatsoper eröffnen wollen, daß die wichtigsten Straßenbahnen schon wieder fahren, daß FURTWÄNGLER-Konzerte abgehalten werden, kurz, daß die Russen mit einem unerwarteten Schwung das zivile und das Kulturleben wieder ankurbeln, und man kann sich nicht genug wundern, daß umgekehrt im gleichen Blatt das ‹*Not fraternising*› des Herrn EISENHOWER so stark betont wird. Mit Erstaunen hört man, daß die Engländer und Amerikaner eine sehr scharfe Okkupation für mindestens zwei Generationen ankündigen. Hat der Erfolg sie so blind gemacht? Am 18. April hat HEISENBERG übrigens über die Theorie des Diamagnetismus vorgetragen. Meine eigene Arbeit ist inzwischen fertiggestellt.

Pfingstmontag, 21. Mai 1945
Man mag nicht zum Fenster hinausschauen. Das gleichmütige Rauschen des fallenden Regens ist die richtige Begleitmusik für unsere Gefangenschaft. Man denkt an zu Hause und möchte heraus, nichts als heraus. Wieder einmal müssen wir unseren Aufenthaltsort verlassen und sollen in den nächsten Tagen nach Belgien kommen in ein einsames Schloß, das nicht so nahe bei einer Stadt liegt. Dort dürfen wir der Vergessenheit anheimfallen und geistig austrocknen. Körperlich geht es uns nicht schlecht. Unsere Ernährung ist jetzt gut. Wir haben die Erlaubnis erhalten, Klavier zu spielen. Gestern hat HEISENBERG die Apassionata auswendig gespielt. Noten gibt's keine, nur ein paar Tango-Noten wurden gefunden. Im übrigen machen die *Physical Reviews* die Runde.

Donnerstag, 24. Mai 1945
Wir haben unserem Major wieder einmal klargemacht, daß wir Post von Zuhause haben möchten, und wieder wurde uns eröffnet, daß es von unserem künftigen Aufenthaltsort in Belgien leichter sei, Postverbindung zu erhalten. Hier gehe das nicht. Die neugierigen Franzosen aus Paris, der neugierige Stadtkommandant von Hechingen, der Umstand, daß wir keine richtigen Kriegsgefangenen seien und tausenderlei Gründe verhinderten eine direkte Postverbindung. Eine leichte Skepsis beginnt uns zu ergreifen. Wir sind nicht gefangen,

keineswegs, wir sind: ‹*detained at his majesty's pleasure*› und werden aus diesem Grunde so behandelt. Unser Zustand besitzt keine klare Rechtsgrundlage. So können wir auch die rechtmäßig vorhandene Kriegsgefangenenpost nicht benützen. Ebensowenig ist es möglich, die amerikanische Feldpost, die *V-Mail*, einzusetzen. Das verbietet der ‹*Not fraternising*›-Erlaß des Herrn EISENHOWER, außerdem würde es dem Herrn Stadtkommandanten von Hechingen das Recht geben, nachzufragen, wo diese ‹Herren› eigentlich seien, was wiederum nicht erwünscht ist.

Eine amüsante Neuigkeit erreichte uns heute mittag. Die ‹*Stars and Stripes*› brachten eine 15-zeilige Notiz über die fehlgeschlagenen Versuche der Deutschen, eine Atombombe zu bauen sowie über die Rolle des schweren Wassers und die 30-monatige Störungsarbeit norwegischer Nationalisten und die der alliierten Heeresleitung. Na also, warum hält man uns dann noch gefangen?

Freitag, 25. Mai 1945

Der heutige Tag stand im Zeichen eines Kolloquiums über Turbulenztheorie. Schon am letzten Dienstag hat Herr VON WEIZSÄCKER über die BURGERsche mathematische Modelltheorie der Turbulenz vorgetragen und heute fortgesetzt. Eine ganz nette Idee kam bei der Diskussion über diese Arbeit heraus. BURGER gewinnt in seiner vereinfachten eindimensionalen Theorie einen Satz, der vielleicht für die wirkliche Turbulenz zutrifft, nämlich: der Energieverlust pro Zeiteinheit ist für jedes Fourierglied der Turbulenzgeschwindigkeit derselbe.

Kann man die Theorie der Turbulenz durchführen, indem man diesen Satz im räumlichen Fall als richtig annimmt? Welche Konsequenzen hat diese Annahme? Unser Major flog heute in der Frühe nach Belgien, um unseren künftigen Aufenthaltsort zu besichtigen. Noch aber ist er nicht zurück.

Montag, 28. Mai 1945

Die Notiz aus ‹*Stars and Stripes*› vom 24. 5. 1945 ist inzwischen bei uns eingegangen, wir wollen sie uns gut aufheben: ‹*Nazi efforts to build Atombomb failed*›, *London 23. Mai, United Press.* ‹*A dispatch to the Daily Express from Oslo has revealed that Norwegian patriots and RAF-Flyer worked together during the last 30 months to frustrate Nazi-efforts to exploit a heavy waterplant at Rjukan, Norway, where the Germans hoped to develop an Atombomb with the most explosive force in the world. The secret battle of Rjukan waged across storm swept Hardanger plateau where Norwegians had been producing large quantities of a substance known as heavy water which contains twice as much hydrogen as ordinary water. Scientists believed that by treating heavy water with metal uranium under great force they could split the atom.*›

Der Tag unserer Abreise nach Belgien rückt näher. Wir wurden deshalb heute ein wenig ausführlicher auf die dortigen Verhältnisse vorbereitet. Prof. HAHN erfuhr die Dinge zunächst von unserem

Major, und dann hatten wir eine Sitzung unter uns, auf der wir hörten, welche Schwierigkeiten der EISENHOWER-Erlaß unserer guten Unterbringung entgegensetzt. Es ist nämlich nicht so, daß etwa nur die Kriegsgefangenen ‹schlecht› zu behandeln seien, schlecht im Sinne des ‹*not fraternising*›, sondern er bezieht sich auf ‹*any Germans*›, und damit sind einwandfrei auch wir gemeint.

Dienstag, 29. Mai 1945
Am Nachmittag findet ein Vortrag von Prof. HARTECK über seine Versuche zur Erhöhung der Korrosionsfestigkeit des Urans statt. Er war sehr interessant.

Mittwoch, 30. Mai 1945
Unser Major schenkte mir zur Feier meines Geburtstages ebenso wie Prof. HAHN, je ein Täfelchen Schokolade. Morgen will unser Major zusammen mit einem anderen Engländer zur zweiten Besichtigung nach Lüttich starten. Wenn alles vorbereitet ist, dürfte unsere Reise nicht mehr auf sich warten lassen.

Neuerdings haben wir uns erheblich der Körperertüchtigung zugewandt. Da uns kein größeres Gelände zur Verfügung steht, machen wir Dauerläufe um das Haus. Heute habe ich mich natürlich besonders angestrengt und es auf ganze 110 Runden gebracht (9,3 km).

Seit einigen Tagen lernen wir Bridge. Herr HARTECK beherrscht das Spiel sehr gut und ist unser Lehrmeister. Sowohl Herr HAHN als auch Herr DIEBNER und ich sind seine dankbaren Schüler, die begierig in die Feinheiten dieses Spiels einzudringen versuchen.

Donnerstag, 31. Mai 1945
Interessant und wichtig ist die Mitteilung eines gestern hier eingetroffenen Engländers: Prof. NIELS BOHR scheint sich der festgesetzten deutschen Wissenschaftler anzunehmen. Diese Nachricht löste viele Hoffnungen aus. HEISENBERG meint: ‹Es läuft doch alles so, daß man nicht zu verzweifeln braucht, und beinahe so, wie man es erwartet. Vielleicht kommt BOHR sogar nach Belgien. Das wäre wirklich eine gute Sache.›

Freitag, 1. Juni 1945
Eine andere Neuigkeit erreichte uns noch am Nachmittag. Prof. BOTHE aus Heidelberg soll voraussichtlich am kommenden Mittwoch hier eintreffen. Na also, jetzt haben sie inzwischen scheinbar die Geheimberichte studiert und BOTHE ist gewissermaßen Opfer dieses Umstands. Dies spricht dafür, daß in der nächsten Zeit mehr passiert und unser Faulenzerleben durch eine Periode größerer Bewegung abgelöst wird. Der schon seit einiger Zeit eingerichtete Kolloquiums-Nachmittag wurde diesmal von Prof. HAHN bestritten. Er berichtete über die Helium-Methode zur Bestimmung des Erdalters. Man erfuhr sehr interessante Einzelheiten, z. B. über die Helium-Einschlüsse in Beryllium-Mineralien, die nach seiner Meinung durch den Gamma-n-Prozeß am Beryllium zu erklären seien. Die Gammastrahlen

müßten von der natürlichen Radioaktivität des Urans, Thoriums oder Radiums stammen, da einfache Abschätzungen zeigen, daß die Ultrastrahlungsquanten nicht ausreichen, um die Helium-Häufigkeit zu erklären.

Sonntag, 3. Juni 1945
Die wichtigste Meldung des heutigen Tages ist zweifellos die, daß wir morgen nach Belgien kommen. Uns wundert das nicht, weil wir schon seit mehr als 5 Wochen ungefragt von heute auf morgen von einem zum andern Ort verfrachtet werden. Eine gewisse Aufregung löste diese Meldung doch aus. Die Bewachung wird angeblich wieder schärfer, zwei amerikanische Offiziere und fünf Mann und außerdem natürlich unser englischer Major.

Räumen müssen wir, weil amerikanische Heeresgirls in unsere Behausung einziehen und für diese an anderer Stelle kein Platz sei.

Mittwoch, 6. Juni 1945
Wir sind bereits zwei Tage an unserem Bestimmungsort in Belgien, es ist ein kleines in englischem Stil erbautes Jagdschloß eines Juristen namens GOLDSCHMIDT in der Nähe von Huy im Ardenner Wald. Das Haus ist ganz wunderbar eingerichtet. Man hat uns jetzt wieder auf Kriegsgefangenenkost gesetzt. Unser Major, der sich eifrigst um unser Wohlergehen bemüht, ist todunglücklich, daß er nicht mehr mit uns speisen kann und dafür mit den beiden amerikanischen Offizieren zusammensitzen muß, die die 13 Mann starke Wachmannschaft befehligen. Denn 1. scheint er unseren Kreis etwas mehr zu schätzen als die beiden *boy scouts* und 2. geht ihm jetzt aus *not-fraternising*-Gründen seine allabendliche *bridge-party* verloren. Ich denke aber, daß sich dies wieder einspielen könnte. In London soll außerdem bereits entschieden sein, was mit uns zu geschehen hat.

Nur Washington muß seine Zustimmung geben, und darum werden wir ohnehin wieder einmal weiterwandern, bis den anderen das Spiel auch einmal zu dumm wird. Unsere Fahrt war übrigens wirklich eine wunderbare Abwechslung während der Gefangenschaft. Von Le Vésinet ging's nach Paris, am *Arc de Triomphe* vorbei, dann nach Reims, von da über Rocroi, Fernay durch die Ardennen nach Dinant. Es war ganz herrlich, die alte Felsenfestung droben auf dem Berg zu sehen, unten der Fluß und dazu ein reizendes Städtchen, das alles bei blauem Himmel von der Abendsonne angestrahlt und in ein zauberhaftes Licht getaucht. Es wird uns allen unvergeßlich bleiben. In Dinant gab's einen einstündigen Aufenthalt – Reifenpanne. Inzwischen war es dunkel geworden. Gegen Mitternacht kamen wir in Huy an. Hier war man auf unsere Ankunft vorbereitet. Nach einem warmen Bad ging's alsbald ins Bett.

Mittwoch, 13. Juni 1945
Am letzten Dienstag Vortrag Prof. HAHNS über weitere Arbeiten zur Altersbestimmung der Erde, die Strontium-Methode. Freitag trug Herr KORSCHING über Arbeiten zur Bestimmung von Kernmomenten

vor. Am Dienstag, 12. 6., mein eigener Bericht. Sonst ist kaum etwas Bemerkenswertes passiert. Wir warten eben auf irgendeinen Bescheid darüber, was mit uns werden soll. Noch sind wir jedenfalls nicht *lucky*, wie der Commander sagte. Im Gegenteil, die Volkswut wächst langsam. Alle sind sich einig, daß demnächst ein Vorstoß bei unserem Major unternommen werden muß.

Freitag, 15. Juni 1945
Der Donnerstag erhielt seine besondere Note durch die Ankunft von Prof. GERLACH. Er kam von Versailles, das heißt genau von dem Schloß Chesnay, das wir vor unserem Aufenthalt in Le Vésinet bewohnten. Es waren inzwischen dort eine ganze Reihe interessanter Persönlichkeiten eingetroffen: SPEER, DORPMÜLLER, OSENBERG, alle mit ihren Stäben, angeblich auch Pastor NIEMÖLLER. GERLACH hat man aber herausgezogen und etwas besser untergebracht. Er gehört nicht zu den *‹war criminals›*. DORPMÜLLER soll übrigens auch wieder zurückkehren und in Frankfurt unter EISENHOWERS Befehl das deutsche Eisenbahnwesen in Schwung bringen. Schon allein diese Nachricht schafft hier viel seelische Erleichterung. Besonders erfreulich ist aber eine andere Nachricht, die uns der Major bringt. Unser weiteres Schicksal sei bereits entschieden. Der englische Standpunkt habe sich in Washington durchgesetzt. Es werde nun nicht mehr lange dauern, bis wir erführen, was mit uns zu geschehen hätte.

Heutiges Kolloquium — WIRTZ — Innere Reibung von Flüssigkeiten.

Dienstag, 19. Juni 1945
Heute wurde unser ‹Verein› offiziell fotografiert, angeblich nur für private Zwecke. Der englische Major reist Mittwoch nach London, um neue Anweisungen zu holen. Vielleicht erfahren wir am kommenden Montag nach seiner Rückkehr einiges über unser weiteres Schicksal.

Heutiger Kolloquiumsvortrag — HARTECK — die Knallgasreaktion. Im übrigen ist es seit einigen Tagen hier sehr warm geworden. Heute brütet die Sonne geradezu. Wir liegen in Badehosen im Gras und lassen uns bräunen.

Sonnabend, 23. Juni 1945
Unser Aufenthalt hat seit einigen Tagen dadurch eine besondere Note erhalten, daß wir von unserem Major kurz vor dessen Abreise nach London noch einen Faustball erhielten. Seitdem wird jeden Morgen von halb elf bis eins in der Gluthitze der schönen Sommertage Faustball gespielt. Alle beteiligen sich, und es macht einen Riesenspaß. Man erholt sich körperlich ganz ausgezeichnet. Am Nachmittag wird gearbeitet. Ein neues Betätigungsfeld wurde außerdem erschlossen. Seitdem Herr HARTECK das Rosengießen mit ungeheurer Energie eingeführt hat und tüchtig die Propagandatrommel dafür rührt, tun alle mit, und wirklich, die Rosen erblühen, daß es

eine Freude ist! Eine andere bemerkenswerte Neuerung ist unser Radioapparat, seitdem wir ihn besitzen, sind wir wenigstens mit den neuesten Nachrichten versorgt. Das ist ein echter Fortschritt!

Kolloquium — Herr GERLACH: Amüsantes aus der Vorlesung für Experimentalphysik; die fallende Kerze, die fallende Glühlampe, das diamagnetische Stäbchen im inhomogenen Magnetfeld.

Dienstag, 26. Juni 1945
Nach einem Kolloquiumsvortrag des Herrn VON LAUE über den EHRENFESTschen Beweis, daß die Entropie eines Systems abnimmt, wenn sich das System im Ausgangszustand in einem thermodynamisch unwahrscheinlichen Zustand befand, und über die Einwände gegen das H-Theorem, den Wiederkehreinwand und den Umkehreinwand gab's eine lebhafte Diskussion.

Freitag, 29. Juni 1945
Der Major ist wieder verreist. Nachdem er alle Vorbereitungen für unsere Abreise nach England erledigt hat, fuhr er heute nach Brüssel, um morgen nach London weiterzufliegen. Vorher hat er noch einmal alle Einzelheiten mit Prof. HAHN besprochen. Schwierig war es, abermals ein Ehrenwort zu geben, daß wir nicht durchbrennen. Sollen wir ein Ehrenwort geben, so daß wir nach 10jähriger Gefangenschaft immer noch nicht die Flucht ergreifen können oder sollen wir unser Ehrenwort zeitlich begrenzen? Sollen wir es auf die Person des englischen Majors beschränken, der uns stets *gentlemanlike* behandelt hat? Die Frage wird eifrig diskutiert. Sollen wir die Bedingungen daran knüpfen, daß man uns sagt, was man mit uns vorhat? Man einigt sich schließlich, noch ein paar Tage nachzudenken. Jedenfalls ist man entschlossen, bald irgend etwas zu starten, was Klarheit über unsere Zukunft und besonders über das Schicksal unserer Familien bringt. HEISENBERG ist einfach empört. HAHN und VON LAUE meinen, daß man nichts unternehmen dürfe, was unseren Major stören könnte. Heutiger Kolloquiumsvortrag v. WEIZSÄCKER: Kosmogonie.

Mittwoch, 4. Juli 1945
Wir sind seit dem 3.7. 16 Uhr in England. Die ganze Reise verlief der Verabredung entsprechend fast auf die Minute genau, wie es geplant war. Am Dienstag mittags um 12 Uhr fuhren wir von Huy aus zum Flugplatz. Wir hatten schon erfahren, daß unser Flugzeug in Lüttich auf uns warte. Das Einladen der Koffer war schnell erledigt. Wir verabschiedeten uns alle noch von dem uns liebgewordenen, auf dem Rasenplatz weidenden Esel, man warf einen Blick auf das Schloß, und dann ging es rasch nach Lüttich. Von Huy aus kam man erst durch ein Industriegelände — Bergbau — dann in diese Stadt selbst, von der man aber nur einen flüchtigen Eindruck auf der schnellen Durchfahrt erhielt. Als wir den Flugplatz erreichten, stand die Dacota bereits startbereit auf der Rollbahn. Der Abflug erfolgte um 14 Uhr. Noch bevor wir das Flugzeug bestiegen,

meinte Herr HARTECK zu Prof. HAHN: ‹Na, Herr HAHN, welche Gefühle haben Sie denn, wenn Sie das Flugzeug besteigen?› Als man feststellte, daß die amerikanischen Begleitoffiziere mit ins Flugzeug einstiegen, beruhigte man sich und nahm an den vorgesehenen Stellen Platz. Über Gent und Ostende erreichten wir schnell das offene Meer, um bald darauf bei Harwich die englische Insel anzusteuern. Die Landung erfolgte auf einem Militärflugplatz bei Huntingdon, etwa 20 km von Cambridge entfernt, um 16 Uhr. Anschließend fuhren wir im Auto zu einem einzelnen Landhaus in der Nähe von St. Noets, das für uns bereitgestellt und hergerichtet war. Man hat den Eindruck, daß es sich von jetzt ab um eine ziemlich dauerhafte Angelegenheit handelt. Dafür spricht auch eine Bemerkung des englischen Hauptmanns, der uns neuerdings mitbetreut. Als er in die Küche kommt, meint er zu unserem Küchenchef im treuherzigsten Ton: Zum Kochen können Sie jetzt den Gasherd verwenden, im Winter jedoch ist es besser, den Kohlenherd zu heizen. Na, denn gute Nacht! Das Haus, in dem wir untergebracht sind, ist etwa 250 Jahre alt, ein alter Backsteinbau ohne besondere Architektonik, schlicht und einfach, aber doch gefällig. Zu ihm gehört ein großer Garten mit einer guten Rasenfläche und zwei alten gewaltigen Bäumen. Die Einrichtung im Innern ist ziemlich veraltet, aber doch freundlich und anheimelnd. Besonders froh sind wir über eine kleine englische Bibliothek, die uns allerhand Lustiges und Interessantes bietet. Bemerkenswert an der Innenausstattung des Hauses sind vor allem die vielen, vielen Bilder an den Wänden, die zum größten Teil aus der Zeit um die Jahrhundertwende stammen. Die ganze herrschende Gesellschaftsschicht ist dort in leicht karikierter Weise dargestellt. Gestern mußten wir uns zum vierten Male schriftlich verpflichten, keinen Fluchtversuch zu unternehmen. Dafür wurde unsere Bewachung herabgesetzt. Die Männer mit den Maschinenpistolen sind aus unserem Gesichtskreis verschwunden. Das ist ein gewisser Fortschritt, wenngleich einer, der uns innerlich kaum noch berührt.

Donnerstag, 12. Juli 1945

Acht Tagebuch-Feiertage und doch Tage, die uns aufregend beschäftigt haben. Am Sonnabend erschien der Commander. Er hat die neun Physiker (ich saß gerade auf meinem Zimmer) im Salon begrüßt, wurde gleich etwas patzig, und darauf liefen alle, bis auf HAHN und GERLACH, einfach aus dem Zimmer. HAHN hat in aller Deutlichkeit gesagt, wie er die Situation sieht. Hat es in der Geschichte je einen Fall der Entführung von Wissenschaftlern gegeben, und ist diese Geschichte überhaupt im entferntesten nur mit dem Völkerrecht in Einklang? Warum hält man uns selbst hier in England hundertprozentig geheim? und setzt uns in einem alleinstehenden Haus gefangen? Welche Pläne liegen hier zugrunde und was hat man mit uns vor? Der Commander soll einigermaßen geknickt gewesen sein. Er will in drei Wochen wiederkommen, nachdem offenbar die Konferenz von STALIN, CHURCHILL und TRUMAN in Potsdam

vorüber und nachdem er selbst von einer Amerikareise zurückgekehrt ist.

Am Dienstag trug HARTECK im Kolloquium vor: ‹Die Paarbildung beim Stoß von Lichtquanten auf Elektronen.›

Inzwischen haben wir herausbekommen, daß wir im Hause der Familie TOWGOOD in Goodmanchester bei Huntingdon wohnen. Das ging aus den Büchern hervor, die in der Bibliothek zur Verfügung stehen. Und noch eine interessante Nachricht. Der Major ließ gesprächsweise scheinbar unauffällig die Bemerkung fallen: ‹... und wenn Sie dann wieder in Deutschland sind ...› Dies wurde mit einer gewissen Erleichterung zur Kenntnis genommen. Es ist ja klar, daß sich jeder an einen solchen Strohhalm klammert. Unser tägliches Leben läuft in seiner äußeren Form sehr gleichmäßig ab. Nach dem Frühstück um 9 Uhr mit *porridge and bacon* treiben wir täglich auf dem Rasenplatz hinter dem Haus mit einem Rugbyball eifrig Sport. Einer fängt und wirft den andern ab. Dann fangen beide, bis keiner mehr übrigbleibt. Dieses Tag für Tag. Um 13 Uhr ist Mittagessen, um 16 Uhr wird Kaffee getrunken und um 19.45 Uhr gibt es Abendbrot. In der Zwischenzeit wird gearbeitet. Unsere Abendbeschäftigung Bridge, Skat, Halma oder auch eine Unterhaltung auf dem Zimmer.

Freitag, 20. Juli 1945

Seitdem wir hier in Goodmanchester sind, finden sich die meisten von uns regelmäßig um 11 Uhr auf der Wiese ein und spielen mit dem Ball. Dann hat man gerade noch Zeit, um sich vor dem Mittagessen zu baden und anzuziehen. Außerdem gibt es neuerdings aber etwas ganz Zeitraubendes: ein Klavier und Mozart-Sonaten.

Am letzten Dienstag trug DIEBNER vor: K-Einfang. Mit Rücksicht auf HARTECKS Geburtstag wurde der heutige Vortrag verschoben.

Dienstag, 31. Juli 1945

HEISENBERG hatte vor einigen Tagen einen Vorstoß beim Major unternommen, um ihn zu veranlassen, daß wenigstens irgendein englischer oder amerikanischer Offizier nach Hechingen fahren und unseren Frauen mitteilen solle, wie es uns ergeht. Die ganze Angelegenheit macht einen verfahrenen Eindruck. Beide Nationen sind sich scheinbar 1. nicht einig, 2. haben die englischen Wahlen mit ihrem völligen Durchfall CHURCHILLS und dem Sieg der Arbeiterpartei einen Umschwung der großen Politik gebracht, der auf die Behandlung unserer Angelegenheit zumindest verzögernd wirkt. Offensichtlich ist man sich darüber einig, daß man uns festhalten wird. Hingegen scheint keine klare Vorstellung darüber zu herrschen, was noch Vernünftiges mit uns zu geschehen hat. Man kann sich ein Bild darüber machen, was einige Engländer denken, wenn sie über uns zu verhandeln haben, wenn man den folgenden Artikel aus dem ‹*Evening Standard*› vom 30. 7. 1945 liest: ‹*V-weapon experts are threat.*› Frankfurt, Montag: *Some of Germanys best warmaking plans are*

still at large because of a loope hole in SHARE's plan[1] *for arresting dangerous Germans. There is no provision for the arrest of research workers who made possible the terror weapons of this war. Many of these workers were held briefly for questioning but practically all of them have since been allowed to go. There is nothing to prevent them continuing experiments they started under the Nazis except perhaps lack of laboratory facilities. Hundreds of people familiar with one or more of the V-weapons are at large. A former executive of the IG-Farben Industry declares: The occupation authorities can take our administrative leaders and our formulas but they cannot take our brains. The allied view is that lack of facilities would prevent the researchman from carrying out experiments. A close watch is being kept on the German borders to prevent scientists fleeing to neutral countries where they might be able to continue the experiments. Our instructions called for the arrest of non Nazi scientists and for the holding for a time of those assistents we know had desirable information, an intelligence officer declared. But researchworkers who were not members of the Nazi party have in many cases been released. They may be potentially dangerous but we never let the potential develop. BUP.*

Genauer und besser braucht man's ja gar nicht zu wissen. Und uns harmlose KWI[2]-Physiker rechnet man eben auch zur Sorte der *dangerous scientists* und dafür müssen wir büßen. Der Commander ist übrigens auch noch nicht aus Amerika zurück. Als HEISENBERG den Major fragte, wann der wohl zu uns käme, erhielt er ein verlegenes Achselzucken zur Antwort.

Die letzten drei Kolloquien: GERLACH spricht über Magnetismus, HEISENBERG gibt ergänzende Bemerkungen in zwei Sitzungen.

Dienstag, 7. August 1945

Morgens. Das war ein aufregender Abend gestern. Der englische Rundfunk gibt bekannt, daß auf einen Ort in Japan eine Atombombe abgeworfen wurde. Wir sitzen schon am Abendbrottisch, als diese Sensationsmeldung unsere Tafelrunde in Erstaunen setzt. Es entwickelt sich sofort eine äußerst lebhafte Diskussion, ob das überhaupt möglich sei und ob hier nicht ein Hörfehler vorliege. HEISENBERG vertritt ganz entschieden die Ansicht ‹Vielleicht haben sie einen neuen Sprengstoff mit atomarem Wasserstoff oder Sauerstoff oder so etwas Ähnliches!› Hat GOUDSMIT nicht immer wieder gefragt, wieso wir Deutschen überhaupt solche Wissenschaft hätten machen können, während in Amerika die Physiker in ‹wahre› Kriegsphysik eingespannt wurden? Herr HAHN ist zunächst sehr erschüttert, hofft dann, daß HEISENBERG recht habe, weil er den Gedanken fürchtet, daß seine eigene Entdeckung kriegsmäßige Konsequenzen haben könne. HARTECK schätzt ab, daß selbst unter günstigsten Bedingungen ein

---

1 SHARE = Abkürzung für Alliiertes Oberkommando.

2 Kaiser-Wilhelm-Institut.

Sprengstoff mit atomarem Wasserstoff oder Sauerstoff nur die zehnfache Brisanz haben könne als die bisher bekannten, während bekanntgegeben worden ist, daß die eine Bombe allein die Wirkung von 20 000 t Sprengstoff besessen haben soll. Da bleibt ja nur die Uranbombe! Herr von Laue und Herr Gerlach sind sehr erschüttert. Gerlach hält die Sache für nur schwer glaubwürdig, verweist aber auf den nächsten Nachrichtendienst um 21 Uhr. Herr von Weizsäcker fragt Herrn Heisenberg nach seiner Meinung noch einmal genauer aus, und Heisenberg bestätigt von neuem, daß er versuchsweise die Sache mal nicht glaube, obwohl nach Hartecks Bemerkung, die auch von Hahn unterstützt wurde, er etwas unsicher wurde und meinte, man müsse eben um 21 Uhr nochmals hören. Herr Diebner hielt es hingegen für möglich, daß es sich um eine echte Atombombe gehandelt haben könne, und Korsching unterstützt ihn in der Vermutung, daß die Amerikaner wohl mit der Isotopentrennung durch Diffusion den Sprengstoff erzeugt hätten. Immerhin war natürlich klar, daß der Sprengstoff auf dem Wege über die Isotopentrennung erzeugt sein mußte, wenngleich es auch als möglich zu betrachten war, daß Trennmethoden vom Typ des Massenspektrometers eingesetzt waren. So verging die Zeit mit Diskussionen, bis wir um 21 Uhr im Salon alle gemeinsam und für einen Eingeweihten zweifelsfrei erfuhren, daß die Amerikaner und die Engländer die Atombombe wirklich besitzen. Eine Leistung, 500 Millionen Pfund Sterling hat die Entwicklung gekostet. Du liebe Zeit, was sind unsere 15 Millionen RM dagegen? Und jetzt ist die Bombe in Japan bereits eingesetzt. Angeblich soll man noch viele Stunden nach dem Abwurf vor lauter Rauch und Staub die betroffene Stadt nicht haben sehen können. Von 300 000 toten Japanern ist die Rede. Der beklagenswerte Prof. Hahn!! Er erzählte uns, daß er schon damals, als er zum ersten Mal erkannte, welche furchtbaren Wirkungen die Uranspaltung haben könne, mehrere Nächte lang nicht geschlafen und erwogen habe, sich das Leben zu nehmen. Eine Zeitlang sei sogar der Plan aufgetaucht, ob man zur Verhütung dieser Katastrophe nicht alles Uran ins Meer versenken solle. Aber kann man gleichzeitig die Menschheit um all die segensreichen Wirkungen bringen, die das Uran andererseits auslöst? Und nun ist sie da, diese furchtbare Bombe. Die Amerikaner und Engländer haben in Amerika gewaltige Fabriken aufgezogen und ungestört in pausenloser Arbeit das reine Uran 235 hergestellt. Währenddessen mußten wir in Deutschland um ein paar tausend Mark riesige Kämpfe ausfechten und zusehen, wie unsere Arbeiten immer wieder zerbombt wurden, mußten freilich auch feststellen, wie einige unserer maßgebenden Männer die Isotopentrennung abschlägig beurteilten und sie nur so am Rande duldeten. In diesem Augenblick wird allen klar, warum wir *detained* sind, warum man uns so ultrageheim vor aller Welt verbirgt, warum keine Post zu unseren Angehörigen gehen kann und warum man alles Verdächtige aus Hechingen geholt und man Haigerloch gesprengt hatte. Ich muß in diesem Augenblick an die drei Kernphysikerpreise des Herrn Stalin denken. Im Osten werden sicher auch die Milliarden

freigemacht und Physiker mit Frauen und Kindern kaserniert, wie es die Amerikaner taten. Jetzt wird auch verständlich, warum der Major ausgerechnet am Sonntag, den 5. August, zu uns kam und uns mitteilte, daß bald eine grundlegende Änderung in unserer Situation eintrete und dann klar würde, was mit uns geplant sei. Er war eben sehr gut unterrichtet. Ist es nicht ein Treppenwitz der Weltgeschichte, daß wir am 6. August morgens die ersten Briefe an unsere Angehörigen abgeben dürfen, wir, unter denen sich Prof. HAHN, der Entdecker der Uranspaltung befindet, am 6. 8., genau an dem Tage, an welchem die erste Uranbombe eine japanische Großstadt zertrümmert und an dem die Welt durch eine Sondermeldung von einer epochemachenden Erfindung erfährt, wie sie nur selten in der Geschichte der Menschheit vorkommt? Sicher wird diese Uranbombe Entwicklungen von welthistorischer Tragweite auslösen, wohl kann sie viel Unglück über die Menschheit bringen, hoffen wir aber, daß sie auf der anderen Seite dazu beitragen wird, das Leben der Menschen angenehmer, schöner und vielleicht auch glücklicher zu gestalten als bisher. Kein Zweifel, daß dies möglich ist. Es ist dazu nur nötig, daß sich die Menschen auch in moralischer Hinsicht dieser Entwicklung gewachsen zeigen. Und daran glauben wir. Wie sagte in dieser Nacht Prof. VON LAUE, als er nach langen Diskussionen sich um 1 Uhr schlafen legte? ‹Als ich jung war, wollte ich Physik treiben und Weltgeschichte erleben. Die Physik habe ich getrieben, und daß ich Weltgeschichte miterlebt habe, wahrhaftig, das kann ich jetzt in meinen alten Tagen wohl sagen.› Er sollte aber nicht zum Einschlafen kommen. Um 2 Uhr pochte es an unsere Tür und herein trat Herr VON LAUE: ‹Wir müssen etwas unternehmen, ich habe große Sorgen um OTTO HAHN. Diese Nachrichten haben ihn entsetzlich erschüttert, und ich befürchte das Schlimmste.› Wir waren noch lange wach, und erst als wir vom Nebenzimmer aus feststellten, daß Herr HAHN schließlich doch eingeschlafen war, gingen alle zu Bett.

Freitag, 10. August 1945
Die letzten Tage standen bei uns ganz im Zeichen der Presse- und Rundfunkmeldungen über die Atombombe. Nachdem man genügend erfahren hatte, brach sich hier bei unseren älteren Herren der Gedanke Bahn, daß es doch wichtig sei, ein Schreiben zu verfassen und dem Major zu überreichen, aus dem hervorgeht, daß man in Deutschland nicht an der Atombombe, wohl aber an der stabilisierten Maschine gearbeitet habe. Die Geschichte fand zwar weitgehende aber nicht die allgemeine Billigung. So wurde denn von HEISENBERG und GERLACH ein entsprechendes Schreiben verfaßt, das dann nach einigen Schwierigkeiten unterschrieben wurde.

Dienstag, 14. August 1945
Der Major, der eben von einem mehrtägigen Wochenendausflug zurückgekehrt ist, berichtet heute, daß unsere Briefe am Montag in Frankfurt waren. Wir freuten uns sehr, daß die Geschichte nun endlich in Gang kommt. Anfang der nächsten Woche soll die Ant-

wort hier sein. Wer könnte beschreiben, wie wir auf diese Post warten! Außerdem soll der Commander gestern in England eingetroffen sein. Der Major meint, daß wohl noch im Laufe dieser Woche entschieden würde, welches unser Schicksal sei, und dann könnte der Commander am Ende der nächsten Woche erscheinen und das Ergebnis mitteilen. Er soll dabei von Sir Charles Darwin, dem Präsidenten der englischen Reichsanstalt, und einem anderen Mann begleitet werden, den der Major nicht kennt.

Kolloquium am letzten Freitag: Ich trage über die Thermverschiebungsregeln bei den Atomkernen vor. Im heutigen Kolloquium berichtete Herr Heisenberg über einige Überlegungen zur Uranbombe. Er schätzte die Zeit ab, in der die Kettenreaktion abläuft. Es ergaben sich 10^{-5} sec. Für die Temperatur der platzenden Bombe erhielt er 30 000 000 Grad, zehnmal mehr als die Amerikaner angeben.

Harteck wird neuerdings wegen seiner Fähigkeiten, alles in Kalorien umzurechnen, angepflaumt. Kaum ißt einer einen Apfel, erfährt er von Harteck, daß das Pfund etwa 450 Kalorien enthalte. Kaum wird es etwas kälter, meint er, daß man mehr Fett essen müsse, denn es enthalte ja 9 000 Kalorien pro Kilogramm. Wenn einer hingegen Sport treibt, dann brauchte er zusätzlich seine 1000 Kalorien pro Tag. Ich brauche wohl nicht darauf hinzuweisen, daß unsere zu leichtem Spott stets aufgelegte Gesellschaft oft genug auf die Kalorien zurückkommt. Unser normales Tagesprogramm, wie es sich seit Wochen inzwischen eingespielt hat und auch praktisch Tag für Tag abläuft, sieht jetzt so aus: 8 Uhr Wecken, 8.30 Uhr Aufstehen, Waschen, 9 Uhr Frühstück, 9.45 Uhr bis 11 Uhr Beschäftigung auf dem Zimmer, 11 bis 12.30 Uhr Faustball, 12.30 Uhr bis 13 Uhr Waschen, Ankleiden. 13 Uhr Dinner: Fleisch, Gemüse, Kartoffeln, Nachspeise, Käsebrot, Tee. 14 bis 16 Uhr auf dem Zimmer, 16 bis 16.45 Uhr Kaffee mit Gebäck. 16.45 bis 19.45 Uhr auf dem Zimmer, Kolloquium, Radio, Konzert. 19.45 bis 20.30 Uhr Supper wie Dinner. 20.30 Uhr bis 24 Uhr Klavier, Skat, Bridge.

Montag, 20. August 1945

Heute muß ich kurz über den Besuch von Sir Charles Darwin berichten, der am Sonnabend und Sonntag hier war. Er kam mit dem Commander. Schon die endgültige und feste Zusage seines Eintreffens löste viel Freude aus, weil man an sein Erscheinen viel Hoffnungen knüpfte. Dann war er da. Ein baumlanger, körperlich kräftiger Mann, in seiner äußeren Erscheinung ein würdiger Sproß einer berühmten Familie, in seiner jovialen Art am Kaffeetisch ein immer noch vielversprechender Mann. Und dann kam die Enttäuschung. Heisenberg und Hahn wurden beide aus unserem Kreis herausgeholt und ins Zimmer von Sir Charles gebeten, wo ihnen freundlich und höflich erklärt wurde, daß er in dieser Angelegenheit kaum etwas zu sagen habe und auch nichts Bestimmtes zusagen könne. Der Tod Roosevelts, Trumans neue Regierung, die Wahlniederlage Churchills, Attlees neue Regierung — diese Ereignisse hätten so viele personelle und sachliche Veränderungen mit sich ge-

bracht, daß schnelle Entscheidungen nicht zu erwarten seien. Trotzdem hoffe der Commander, in etwa einer Woche schon mehr über unser Schicksal sagen zu können, weil dann Verhandlungen mit höheren Stellen stattgefunden hätten. Das war alles. Am Abend diskutierte man noch über die Atombombe und ihre politischen Konsequenzen. Im ganzen kam nicht viel Neues zutage. Als die beiden Herren am Sonntagmorgen wieder abreisten, waren wir genauso klug wie vorher.

Kolloquium am 21. 8. 1945: KORSCHING trägt über seine Arbeiten zur Thermodiffusion vor. Strömung zwischen zwei verschieden temperierten Platten.

Kolloquium am 24. 8. 1945: GERLACH über Relaxationserscheinungen beim Magnetismus, thermisches Umklappen von WEISS'schen Bereichen bei schwachen Gegenfeldern.

Kolloquium am 31. 8. 1945: HAHN liest einige Stellen aus EVES Buch über RUTHERFORD vor.

Am 28. August traf zum erstenmal Post aus Deutschland ein. Viel Freude über das erste Lebenszeichen von den Familien, aber auch manche schwere Nachricht.

Mittwoch, 12. September 1945

Am 7. 9. verkündete der Major, daß am Sonnabend, dem 8. 9., Prof. BLACKETT und der Commander erscheinen würden. Alles atmete erleichtert auf. Na, und dann kamen die beiden Herren tatsächlich und blieben bis zum Nachmittag hier. In den vielen Diskussionen, die stattfanden, wurde immer betont, daß wir bald nach Deutschland zurückkehren würden. Bei den Jüngeren sei das ohnehin keine Schwierigkeit, nur HAHN und HEISENBERG wollte man nach Amerika einladen. Aber beide meinten, daß sie in Deutschland wichtiger seien und dringender benötigt würden als in dem mit guten Physikern überreich ausgestatteten Amerika. BLACKETT verspricht, daß in spätestens 14 Tagen etwas geschehe. Bis vor drei Tagen hatte er allerdings keine Ahnung davon, ob und wo wir *detained* seien. Reine Militärangelegenheit. Am 20. 9., offenbar am Ende der Besprechung der fünf Außenminister, soll eine Sitzung stattfinden, in der über unser Schicksal beraten werden soll. Das Ergebnis werden wir alsbald erfahren. Nun wartet man wieder und hofft, daß dieser Tag etwas Gutes für uns bringen möge. HEISENBERG rechnet mit der Rückkehr nach Hechingen, das wäre wunderbar, nicht auszudenken, aber wieder müssen wir warten.

Unsere Kolloquiumsvorträge in der letzten Zeit: 4. 9. VON WEIZSÄCKER, die EDDINGTONsche Theorie über den inneren Aufbau der Sterne, HAHN: Weitere Episode aus EVES Buch über RUTHERFORD, 11. 9.: mein eigener Vortrag über Arbeiten zur Ultrastrahlung.

Heute, am 12. 9., kam unser Captain auf die glorreiche Idee, in Abwesenheit des Majors, uns zu einer Autofahrt in die Umgebung einzuladen. Das Los fiel auf VON LAUE, HEISENBERG und mich. Nach dem Kaffeetrinken ging's nach Nordosten bis nach March. Eine ganz lustige Fahrt, auf der man hübsche englische Kleinstädte und

Dörfer mit romanischen und frühgotischen Kirchen sah. Eine erfreuliche Abwechslung im Einerlei unseres Gefangenenalltags, für die wir dankbar waren.

Mittwoch, 19. September 1945
Am Vorabend des Tages, an dem die Entscheidung über unser Schicksal fallen soll! Noch ist unsere Zukunft in ein undurchsichtiges Dunkel gehüllt. Der erkrankte Major ist seit mehr als einer Woche zu Hause bei seiner Familie. Der Captain ist unsere einzige Nachrichtenquelle. Obwohl er am letzten Sonntag in London war und einen HEISENBERG-Brief beim Commander abgab, kehrte er ohne Nachricht zurück. Dabei soll am Montag bereits eine erste Sitzung stattgefunden haben. Man hat inzwischen das Gefühl, als ob wieder etwas Stagnierendes in den Ablauf der Ereignisse eingegriffen habe.

Dienstag, 27. September 1945
Der 20. September kam und verging und nichts ereignete sich. Wer würde sich darüber noch wundern? Am Tag darauf fuhr der Hauptmann nach London, und als er zurückkam, erzählte er uns beinahe so nebenbei, daß noch keine Entscheidung gefallen sei. Am Montag war Prof. HAHN nach London zum Major bestellt. Er brachte immerhin die Ankündigung mit, daß Ende dieser oder Anfang nächster Woche mit einer ziemlich definitiven Entscheidung aus Washington gerechnet werden könne. Weiter brachte er den Auftrag mit, daß ein Memorandum durch unseren Kreis verfaßt werden solle, in dem unsere Pläne und Wünsche klar und knapp dargestellt sind. Das geschah und wurde von uns allen in der Altersfolge unterzeichnet. Es enthielt im wesentlichen den Wunsch, nach Deutschland zu den Familien zurückzukehren und dort wieder zu arbeiten, zu forschen und zu lehren. Als Wohnorte wurden vorgeschlagen: Heidelberg, München, Göttingen. Hechingen nur für vorübergehenden Aufenthalt. In den letzten Tagen habe ich Rechnungen über die kritischen Dimensionen von Kugel, Würfel und Zylinder beim Uranbrenner durchgeführt. Die Rechnungen ergaben das interessante und für einige von uns völlig unerwartete Ergebnis, daß der Haigerlocher Versuch zu einem überkritischen Uranbrenner geführt hätte, wenn man anstelle der Zylinder- die Kugelform für die Schwerwasser-Uran-Mischung genommen hätte.

Dienstag, 9. Oktober 1945
HEISENBERG, HAHN und VON LAUE waren Anfang der letzten Woche nach London bestellt worden, wo sie im Hause der *Royal Institution* mit verschiedenen Wissenschaftlern zusammentrafen, BLACKETT, HILL und BRAGG. Dort wurde ihnen eröffnet, daß von Amerika der offizielle Entschluß vorliegt, uns nach Deutschland zurück zu lassen. Es fragt sich nur, wohin wir kommen. Die französische Zone, Hechingen, komme nicht in Frage. Wohl aber könne man daran denken, nach Bonn, Göttingen, Heidelberg und Hamburg zu ziehen. Sinn der Rückreise sei, irgendwo wieder ein deutsches wissenschaftliches Zen-

trum zu errichten, einen Kristallisationskern für die künftige wissenschaftliche Betätigung, von dem aus ein Neuaufbau in die Wege geleitet werden könne. Wir sollten in unserem Kreis diese Gedanken einmal diskutieren und dann unsere Pläne mitteilen.

Die Bridgerunde spielt mit stumpfsinniger Konsequenz jeden Abend mehrere Stunden. Man kann sich eines leichten Lächelns nicht erwehren, wenn man die vier Herren abends im Salon sitzen sieht und dann so ernsthaft diskutieren hört über diesen oder jenen Impaß, ob man jetzt ein- oder zweimal Karo spielen müsse und wie ganz furchtbar es gewesen wäre, wenn der eine jetzt nicht Kreuz gespielt hätte, weil dann der andere mit seiner blanken Dame glatt mit der Eins stechen und die restlichen Stiche hätte einheimsen können. Und wenn dann sogar der Rubber trotz der 17 downs der Gegenseite auf der einen Partei bloß mit 800 gewonnen wurde, weil die andere Partei wegen unberechtigten Schwätzens 1000 abgebucht bekam, stellte man befriedigt fest, daß man mit 800 gerade ins Krönungsjahr KARLS DES GROSSEN gekommen ist. Gelegentlich erreicht man auch etwas in der Gegend von 1000 und kommt damit in die Gegend von Sigismund dem Heizbaren und dieses wiederum ist natürlich auch ein interessanter Beweis dafür, daß die Bridgerunde außer der von ihr erfundenen Bridge-Reizkonvention oder Huntingdonkonvention noch Geschichtszahlen im Kopf hat, die jeder Laie bestaunen muß. Aber den Bridgisten geht es nicht allein so. Herr DIEBNER liest den ganzen Tag im ‹Grafen von Monte Christo› und wenn ihm das zu dumm wird, spielt er mit KORSCHING sein vor einigen Tagen erfundenes ‹Hochping›, eine Art des Ping-Pong, bei der der Ball den Tisch nicht berühren darf. Da schlagen sich die beiden stundenlang den armen Ball zu und zählen die Punkte. Heute haben sie es schon auf einen Satz von 148 gebracht. Sonst spielt man Billard bis zum Steinerweichen und neuerdings sogar Herr VON LAUE. Ach, überhaupt, am Morgen kommt er schon auf einen zu und meint: ‹Was soll man nun wieder den ganzen lieben, langen Tag tun?› Jetzt haben wir ihn auf die Idee gebracht, eine Vorlesung über Supraleitung zu halten. Er hat sie mit Begeisterung aufgenommen. Ganz anders Herr GERLACH. Er hat seinen Blumenfimmel, wenn man es respektloserweise so nennen darf. Mit geradezu fanatischer Konsequenz wird auch das letzte Rosenknöspchen, das im Garten ans Licht der Welt zu kommen wagt, abgeschnitten und in eine Vase gesteckt. So 20 Vasen werden jeden Tag neu geleert und gefüllt. So eine Arbeit, richtig ernst genommen, füllt einen großen Physiker immerhin halb aus. Sie hat Herrn GERLACH bereits den Spitznamen ‹Blumenklau› eingebracht. Die restliche Arbeitskraft wird in ‹Magnetismus› verwandelt. Da wimmelt's nur so von Magnetostriktion und Hystereseschleifen. Am normalsten von allen ist immer noch Herr HAHN, obwohl ich das Gefühl habe, daß es auch bei ihm unter der Decke schon gehörig glimmt. Er scheint sich die Zeit mit dem Aufschreiben seiner von ihm so getauften ‹Memoroiden› und mit dem Lesen von Büchern vom Charakter der *‹Alice in Wonderland›* zu vertreiben. Morgens macht er sehr regelmäßig einen 3—4 km lan-

gen Lauf im Garten, auch etwa 60 bis 70 kleinere Runden, und bei Tisch verzapft er nach wie vor ‹Cocktails›, obwohl die allmählich an Qualität nachlassen, weil offenbar sein Vorrat zur Neige geht.

Sonntag, 21. Oktober 1945
Briefe, die sie nicht erreichen, war das Stichwort, als wir am Freitag unsere sauber geschriebenen Bogen dem Captain übergaben. Sie gingen nach London, wir nehmen an, gewissermaßen als Pulsfühler. Sie sollen dem eingeschnappten Commander und allen, die hinter ihm stehen, sagen, wie unsere Stimmung ist. In 8 Wochen ist Weihnachten. 6 Monate sind wir schon *detained.* Als gestern unser Koch nebenbei dem Captain sagte: ‹Ich muß jetzt anfangen, Mehl zu sparen, damit wir Weihnachten etwas backen können›, meinte dieser in seiner zuvorkommenden freundlichen Art: ‹Meinen Sie für diese oder für nächste Weihnachten?› Aber wir haben ja den Krieg verloren und wir müssen uns solche Bemerkungen eigentlich Tag für Tag gefallen lassen. Jedenfalls ist sie charakteristisch für viele andere, die uns in gleicher Weise etwas veräppeln sollen. Manchmal denkt man, daß unsere Abreise ganz plötzlich akut wird. Ein Anruf aus London und 2 Stunden später sitzen wir vielleicht in einer Dacota und fliegen zurück.

Unsere Kolloquien sind eines sanften Todes gestorben. Man fragt dienstags und freitags schon gar nicht mehr nach ihnen. Ich fange jetzt an, eine Vorlesung über Fragen der Quantentheorie vorzubereiten.

Mittwoch, 24. Oktober 1945
Nachdem ich bereits die zweite Vorlesungsstunde hinter mich gebracht habe, will ich einige Worte dazu aufschreiben. In der ersten Stunde waren Herr HARTECK und Herr KORSCHING anwesend. In der zweiten kam noch Herr DIEBNER hinzu. Wir halten die Geschichte in unserem Schlafzimmer ab. Man trifft sich, wie für die nächste Zeit verabredet wurde, nach dem 4-Uhr-Tee an jedem zweiten Tag. Die Zuhörer sitzen auf meinem Bett und ich an dem Tisch, den sonst Herr DIEBNER als Schreibtisch benutzt. Zwischenfragen sind erwünscht und werden auch eifrigst gestellt. Bisher ging es um die Ungenauigkeitsrelation und ihre Begründung. Ziel ist die vollständige Theorie der SCHRÖDINGER-Gleichung. Die ‹Zuhörer› bringen die Vorlesung in die von ihnen gewünschte Richtung.

In der Behandlung unserer *Detained*-Seins-Frage gibt es nichts Neues. Alle sind mehr oder weniger eingeschüchtert, seitdem der Commander Herrn HEISENBERG hat sagen lassen, daß er jetzt nicht mehr mit ihm zu verhandeln wünsche. Der Tag unserer 6-monatigen Gefangenschaft rückt heran. Herr VON LAUE hat den Wunsch geäußert, ihn zu feiern, aber KORSCHING und ich haben gehörig protestiert.

Montag, 29. Oktober 1945
Der amerikanische Hauptmann hat uns inzwischen wieder verlassen. Ich hatte gestern abend noch eine kleine Unterredung mit ihm.

Er meinte, wir kämen sicher nach Hause, etwa Weihnachten. Dem steht entgegen, daß vor wenigen Minuten der Captain von seinem Wochenurlaub in London zurückkehrte und berichtete, daß der Major inzwischen genesen sei. Offiziell käme er am 23. Dezember wieder zurück und hoffe, uns dann zu sehen.

Amerika, England!! Welch ein Gegensatz! Der eine tröstet, sagt, es sei schwer für uns, wir dürften die Geduld nicht verlieren, es würde schon alles gutgehen. Der andere erwähnt so im Nebensatz, daß uns der Major zu Weihnachten hier zu sehen hoffe. Das ist alles, kein Wort weiter. Dann redet man vom Wetter. Zwei Vertreter verschiedener Nationen, zwei Welten.

Dienstag, 30. Oktober 1945

Es ist eine deutlich spürbare Änderung in der Haltung des Captains eingetreten. Unser Koch und unsere Kellner wurden heute ins Kino geführt. HAHN, HEISENBERG und ich wurden zu einer Spazierfahrt des Captain eingeladen. Es ging von Huntingdon nach Petersborough, wo wir die herrliche gotische Kathedrale besichtigten, dann nach Crowland, einem Ort, in dem es eine merkwürdige dreibeinige Brücke in der Stadt zu sehen gibt, außerdem eine Kirchenruine, deren linkes Seitenschiff als Behelfskirche eingerichtet wurde. Ein recht eindrucksvolles Bauwerk. Über Stanford ging's wieder nach Hause.

Bemerkenswert ist noch folgendes. Es häufen sich die englischen Zeitungsnachrichten, wonach die Russen die in ihrer Zone verbliebenen Kernphysiker hoch bezahlen. 120 Pfund pro Monat. BEWILOGUA ist unter ihnen. Außerdem steht heute in der Zeitung, daß die Engländer in Didcot bei London ein Atominstitut bauen wollen und als Experten Dr. OTTO HAHN dorthin holen wollen. Sie lassen sich das natürlich aus Stockholm berichten. Man kann auf die weitere Entwicklung gespannt sein.

Donnerstag, 1. November 1945

Heute war der Captain in London. Er brachte die Nachricht mit, daß unsere Briefe vom 18. Oktober in Frankfurt eingetroffen seien. Wir müssen nun warten, bis sie durch Deutschland durchkutschiert werden und dann haben wir die Chance, in etwa 3 Wochen eine Antwort zu erhalten. Wenn ich auch sehr froh bin, daß auf diese Weise überhaupt unsere Angehörigen etwas von uns hören, deprimiert mich diese Nachricht andererseits sehr, zeigt sie doch, daß es mit dem hoffnungsvollen Trost des amerikanischen Hauptmanns wieder nichts zu werden scheint.

Am kommenden Freitag wird uns Herr F. C. FRANK, ein früherer Mitarbeiter am Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin, besuchen. Auch dieses Ereignis ist in seiner Art eine Neuigkeit.

Dienstag, 6. November 1945

Herr FRANK war tatsächlich hier. Seitdem ist unsere Gesellschaft sehr niedergeschlagen. Wenn man seine Mitteilungen ernst nehmen

müßte, wären wir in 5 Jahren auch noch hier. Er behauptet, die *‹most phantastic security restrictions›* gingen so weit, daß er mit zwei Atomfreunden in Amerika seit einem Jahr keine Postverbindung mehr habe.

Unsere Leute hingegen setzen immer noch einiges auf die am 9. Dezember beginnende Konferenz von TRUMAN und ATTLEE in Washington. Aber Konferenzen waren schon viele, von denen wir etwas erhofften. Die Geschichten endeten immer wie das Hornberger Schießen. Oder wenn man's mit den Worten des Captains ausdrücken soll: ‹Aus London ist nichts Neues zu berichten.›

Und hier noch eine weitere Bemerkung des Captains: Als Herr WIRTZ beim Mittagstisch gesprächsweise die Bemerkung machte, daß die deutsche physikalische Chemie der englischen überlegen gewesen sei, während er zugleich den englischen Vorsprung in der Kernphysik hervorhob, meinte der Captain: ‹Bilden Sie sich nur nichts ein.› ‹Worauf?› fragte Herr WIRTZ. ‹Auf gar nichts, meine ich, auf gar nichts überhaupt.› Nun gut, das muß man in solchen Fällen eben einstecken. Am Sonnabend sollte wieder einmal Kolloquium sein. Entgegen aller ursprünglichen Planung fiel es aus, weil Herr VON LAUE durch die beunruhigenden Nachrichten des Herrn FRANK vom Freitag so erschüttert war, daß er am Sonnabend im Bett liegen mußte. Am Sonntag war er zwar wieder mobil, aber man spürt doch sehr stark, wie er leidet. Dafür muß ich im Kolloquium einen Vortrag über die chemischen Eigenschaften der Transurane halten, soweit man nach dem THOMAS-FERMI-Modell etwas darüber aussagen kann.

Die Nachrichten aus Deutschland werden allmählich sehr beunruhigend. Was uns das Leben schwer macht, ist die Tatsache, daß wir so viele Nachrichten dieser Art erhalten. Die Massenausweisungen von Deutschen aus Polen und der Tschechei, das Elend der Flüchtlingstrecks, die Lebensmittelnot mit ihren 1100 Kalorien pro Tag, die ganze erbärmliche Rechtlosigkeit des deutschen Menschen überhaupt. Dann das ungeheure Elend in Österreich. ‹Vier Elefanten› in einem kleinen Boot. Auf sechs Millionen Einwohner 3 Millionen fremde Soldaten. Wann endlich wird die Welt vernünftig, wann hat dieses Unglück ein Ende?

Sonnabend, 10. November 1945

Mein Kolloquium am Dienstag über das FERMI-Modell und seine Aussagen bezüglich der chemischen Eigenschaften der Transurane fiel auf guten Boden. Es gab im Anschluß an den Vortrag eine lebhafte Diskussion, bei der vor allem die Erfahrungen im HAHNschen Institut mit den Transuranen eine große Rolle spielten. Gestern berichtete Herr WIRTZ über die Eiweiße. Es war interessant, zu hören, was die Biochemiker und Biologen inzwischen herausbekommen haben. Man spürt, daß hier an den Fundamenten unserer biologischen Existenz gerüttelt wird. Eines Tages werden wir wissen, wie die Chemie der Zellteilung tatsächlich aussieht.

Eben kommt eine unserer Ordonnanzen ins Zimmer und berichtet,

daß der Commander mit dem Captain aus London ankam. Interessant ist dies auf alle Fälle, da heute Herr ATTLEE und der englische Atombombenminister ANDERSON ihre Besprechungen mit TRUMAN in Washington beginnen. Wir vermuteten und hofften die ganze Zeit schon, daß diese Besprechungen vielleicht in irgendeiner Weise für unsere Lage von Bedeutung sein könnten. Vielleicht ist darum das unerwartete Auftauchen des Commanders keine zufällige Koinzidenz. Was bringt es Neues für uns mit?

Sonntag, 11. November 1945

Ja, was hat er nun eigentlich Neues mitgebracht? frage ich mich jetzt, nachdem ich 24 Stunden später und 12 Stunden nach seiner Abreise diesen Besuch überdenke. Er teilte mit, daß in Amerika jedenfalls auch über unser Schicksal verhandelt wird. Keiner weiß, wie die Entscheidung aussehen wird, nur daß eine solche angestrebt werde, sei ziemlich sicher. Es bestehe sogar die Möglichkeit, daß man uns nach Hause läßt. Ebenso aber gäbe es die andere, daß wir noch 3 Jahre hierbleiben müßten. Wenn es zu dem letzteren Entschluß käme, würde man in etwa 3 Monaten über die Frage unserer Familien verhandeln. Das sind ja schöne Aussichten! Bemerkenswert sind noch die folgenden Gesichtspunkte, die in Unterhaltungen mit dem Commander zutage kamen. Als man ihn fragte, was denn die Engländer mit uns anfangen wollten, kam die Antwort: ‹Ja, es gibt verschiedene Meinungen.› Die einen wollten uns Wissenschaftler nach Hause lassen, die anderen aber wollten uns lebenslänglich mit unseren Familien auf einem kleinen Areal einsperren oder am besten gleich erschießen. Freundliche Leute sind dies.

Herr HAHN hat laut gelacht und meinte: ‹Na, wenn das käme, würde ich Sie alle auslachen.› Als HAHN fragte, ob man denn unseren Familien eine kleine Weihnachtsfreude in Form eines Eßwarenpaketes vorbereiten könne, meinte er: *‹That can easily be done.›* Als aber Herr DIEBNER fragte, ob er etwas über das Schicksal seiner Mitarbeiter CZULIUS, HARTWIG und HERRMANN wisse, kam die in großer Erregung ausgesprochene Antwort: ‹Ich weiß nicht. *I am an Englishman.* Ich interessiere mich nicht für beliebige Deutsche. Die sind mir gleichgültig.›

Am kommenden Mittwoch fährt der Commander nach Deutschland. Er will 10 Tage dort bleiben. Von dem amerikanischen Hauptmann kam ein netter Brief aus Paris. Aus ihm konnte man entnehmen, daß unsere Briefe wohl bald beantwortet zurückkommen. Ich erhielt noch eine nette Bemerkung über meine Kinder. Im übrigen hat der Commander zugesagt, daß wir zu Weihnachten noch einen Brief schreiben dürften.

Sonntag, 18. November 1945

Heute kann ich über ein interessantes Ereignis berichten, das zweifellos seinesgleichen sucht. Am Freitag vormittag, kurz nach dem Frühstück, saßen die meisten von uns im Salon, um *‹this week's composer›*, es war RIMSKIJ-KORSAKOFF, abzuhören und dabei natürlich

auch die ‹latesten News› zu studieren, als HEISENBERG zu HAHN sagte: ‹Herr HAHN, da lesen Sie mal!› Und damit überreichte er ihm den *‹Daily Telegraph›*. Herr HAHN, der selbst gerade eifrig in einem anderen Blatt las, meinte: ‹Ich hab jetzt gar keine Zeit.› ‹Das ist aber sehr wichtig für Sie, da steht nämlich drin, daß Sie den Nobelpreis für 1944 erhalten sollen.› Die Erregung, die von diesem Augenblick an die 10 Detaineden befiel, ist natürlich schwer mit wenigen Worten zu beschreiben. HAHN glaubte es zunächst nicht. Anfangs lehnte er alle Glückwunschadressen ab. Aber dann drangen wir allmählich durch, allen voran HEISENBERG, der ihn zu den 6 200 Pfund herzlich beglückwünschte. Dann kamen auch wir anderen der Reihe nach dran. HEISENBERG begab sich sofort zum Captain, der von dieser Nachricht völlig überrascht wurde und noch eine halbe Stunde später ganz fassungslos war. Sofort rief er das Londoner Office an. Dort wußte man offenbar noch gar nichts, aber die Telefone wurden bald sehr lebhaft in Bewegung gesetzt. Informationsministerium, *Times*-Korrespondenten und alle möglichen Zeitungsleute wurden angerufen. Es stellte sich allmählich heraus, daß keine Falschmeldung vorlag.

Die schwedische Akademie hatte sich offenbar in den letzten Tagen zu diesem Schritt entschlossen, der zum Teil wohl auch durch unsere Lage beeinflußt wurde. Noch vor wenigen Wochen teilte nämlich der schwedische Prof. WESTGREEN Herrn HAHN mit, daß man ihn in diesem Jahre leider nicht in Stockholm begrüßen könne. Man hätte mit Rücksicht auf die Weltstimmung über die Atombomben davon abgesehen. Aber vielleicht haben die englischen Physiker ein wenig nachgeholfen. Es besteht nicht der leiseste Zweifel, daß in dem kleinen Kampfe zwischen Commander und BLACKETT zunächst der Commander gewann. Nun erfolgte offensichtlich der Gegenschlag der Wissenschaftler.

Die schwedischen Physiker SIEGBAHN und SVEDBERG waren wahrscheinlich am 9. November zur Röntgenfeier nach London gekommen und haben dort die englischen Wissenschaftler gesehen. Wenige Tage später erfolgte die Nobelpreisverleihung an HAHN. Das ist kein Zufall. Wir wissen das zwar nicht sicher. Es ist nur zu vermuten; denn keiner von uns hat die Möglichkeit, sich richtig zu unterrichten. Ob es gut war, daß die Verleihung als politische Aktion jetzt erfolgt, ist noch nicht einmal ganz sicher; denn nun werden die ‹Commanders› wieder zurückschießen, und die besitzen ja das richtige Pulver. Man muß deshalb abwarten.

Der Captain fuhr noch am gleichen Tage nach London und kam am Abend schon wieder zurück. Nichts Neues. Das war klar, aber die Nobelpreisnachricht wurde auch nicht dementiert. Wir hatten inzwischen eine kleine Feier vorbereitet. Der Captain stiftete eine Flasche Gin und zwei Flaschen Rotwein, und noch während des Abendbrotes begann die Geschichte mit einer Festrede des Herrn VON LAUE.

Er feierte unseren Senior gebührend, redete von Genie und Fleiß, und am Schluß kam er darauf zu sprechen, welche Gedanken wohl Frau HAHN jetzt in Deutschland bewegen mögen. Daraufhin verlas

Heisenberg eine sehr lustige, von ihm selbst erfundene Sammlung von Zeitungsstimmen, die sich auf Otto Hahn bezogen. Weizsäcker schloß an mit einem Bericht aus der Frankfurter Zeitung, mit der bemerkenswerten Überschrift ‹Von Goethe bis Hahn – zwei große Frankfurter›. Herr Wirtz verlas einen Artikel des *‹Moosejaw Herald›*. ‹Moosejaw› war einer von Hahns ‹Cocktails›. Jener mit den sieben gespaltenen Hühnereiern auf dem Kopfe desjenigen, der sich dort die Haare waschen läßt. Dann singen Diebner und Wirtz ein Lied mit dem Refrain ‹... und fragt man, wer war schuld daran, so ist die Antwort: Otto Hahn›. Zum Schluß verlese ich noch eine Geschichte der Detaineden, in der die Adjektive von den Festteilnehmern ergänzt werden müssen. Diese werden an vorgesehenen freien Plätzen erst nachträglich in die Geschichte eingesetzt.

Schon die Überschrift kam gut heraus. Die ‹einwandfreie› Geschichte der ‹unbrauchbaren› Kernphysiker seit ihrer ‹überflüssigen› Detainung. Es ergaben sich auch sonst noch herrliche Witze, so u. a. der vom ‹durchwachsenen› KWI für Chemie in Teilfingen und der von den ‹alkoholisierten› Detainern. Jedenfalls wurde an diesem Abend viel gelacht. Zum ersten Mal vergaß man, daß man hier gefangen war.

Der Captain kam in den nächsten Tagen nicht mehr auf den Nobelpreis zurück. In den englischen Zeitungen wird die Verleihung mit keinem Wort mehr erwähnt, und man beginnt langsam zu begreifen, weshalb unser Betreuer am Freitag so schnell nach London fahren mußte. Totschweigen ist offenbar die Parole des Tages. Was aber werden die Wissenschaftler in der übrigen Welt tun?

Montag, 26. November 1945

Auf Hahns Nobelpreisnotiz ist nicht die geringste Spur einer Reaktion von Seiten des Office erfolgt. Wir leben trüb unseren Tag dahin. Aller Elan ist verschwunden. Jeder fühlt, daß hier menschliche Willkür, nicht eine höhere Notwendigkeit oder Zweckmäßigkeit dahintersteht. Warum werden wir eigentlich noch festgehalten? Die englischen Staatsführer haben schon lange erklärt, daß die Aufbauprinzipien für Atombomben überall bekannt seien. Trotzdem sind wir hier so eingesperrt, daß kein Mensch etwas über unseren Aufenthaltsort erfährt. Es wird jetzt mehr denn je der Schleier des Geheimnisses über uns gebreitet. Die Autofahrten haben aufgehört, ins Kino kommt keiner von den Physikern. Hahns Anfrage in dieser Richtung wurde einfach übergangen.

Kolloquium vom letzten Freitag: Herr Heisenberg über die Quantentheorie der chemischen Bindung: Heitler- und London-Theorie. Meine Vorlesung über die Quantentheorie geht laufend weiter. Ich bin mit den Topfmodellen schon fast fertig. Auch von Laues ‹Allgemeine Relativitätstheorie› macht gute Fortschritte.

Mittwoch, 5. Dezember 1945

In den letzten Tagen ereigneten sich einige interessante Dinge. Der Captain verkündete, daß wir Pakete zu unseren Angehörigen schik-

ken dürften. Eßwaren, die wir eingespart hatten. Große Freude, eifriges Packen! Ein amerikanischer Oberst hatte zugesagt, daß die Pakete befördert würden.

Nächster Tag: Der gerade aus Deutschland zurückgekehrte Commander hat alles abgeblasen. HAHN quetscht ihn über die Nobelpreisaffäre aus. Die schwedischen Papiere liegen in London! Man hat sie einfach nicht weiterbefördert. HAHN ist aufgebracht, aber was soll man tun? Gestern abend, am 4. Dezember, ruft's plötzlich aus London an. Der Commander und zwei amerikanische Offiziere treffen zum Abendbrot ein. Bringen sie etwas Besonderes? HAHN erhält die Einladung zum Nobelvortrag. Er muß die Antwort schreiben. Auf HAHNS Anfrage, ob er denn mitteilen dürfe, daß er hier festgehalten werde und deshalb nicht kommen könne, sagt der Commander: Dann wird der Brief nicht befördert. *‹You are Germans, you have lost the war›*, war die zugehörige Erklärung.

Das mit den *‹Germans›* haben wir von ihm schon öfter gehört. Es wundert uns nicht mehr. Zwar wurde noch viel geredet, aber es ergab sich nichts Neues. Nur der amerikanische Oberst meinte, daß in etwa zwei Monaten alles entschieden sei. Na, Gott sei Dank, ein neuer Hoffnungsstrahl!

Heute morgen haben uns die drei Besucher wieder verlassen. Ergebnis des ganzen Tages: ein Brief OTTO HAHNS an das Nobel-Komitee, in welchem er sich für den Preis bedankt. Er teilt weiterhin mit, daß er zwar nicht zur Feier am 12. Dezember in Schweden sein kann, wohl aber hofft, innerhalb der festgesetzten Zeit von sechs Monaten seinen Vortrag noch halten zu können. Das, was er eigentlich sagen wollte, mußte er verschweigen.

Heute ist HEISENBERGS Geburtstag. Ich habe drei ‹Telegramme› verlesen, eines aus Hechingen, eines aus Irkutsk, den beiden ‹Zweigstellen› des KWI für Physik, und eines von ATTLEE und TRUMAN.

Sonntag, 9. Dezember 1945

In England ist es inzwischen sehr kalt geworden. Das Wasser im Freien friert in den Nächten. Im Inneren der Häuser ist es sehr kalt. Das gehört hier zum guten Ton. Richtige Heizmöglichkeiten gibt es nicht. Man hat entweder Kamine, Gasöfen oder Heizsonnen. In unserem Haus wird vorwiegend elektrisch geheizt, jedenfalls im Salon und im Speisezimmer. In meinem Schlafzimmer befindet sich eine Gasheizung. Bei großer Kälte reicht sie auch nicht annähernd aus. In den Morgenstunden ist Frieren und Zähneklappern obligatorisch. Man findet schon gar nichts mehr dabei.

Am 15. Dezember treffen sich die drei großen Außenminister in Moskau. Ob sie wohl diesmal etwas besser zusammenfinden als im Herbst in London? Ob dies wohl Konsequenzen für unsere Lage hat?

Kolloquium am Freitag, 7. Dez.: DIEBNER berichtet über das Rheotron. Bestimmung von Gammaschwellen bei leichten Atomkernen.

Mittwoch, 12. Dezember 1945
Herr HEISENBERG berichtete im Kolloquium am Dienstag über die Farben organischer Moleküle.

Sonntag, 23. Dezember 1945
Hurra, wir kommen nach Deutschland! In unser altes, liebes Deutschland! Wie soll man diese Freude beschreiben, die uns alle gestern erfaßte, als der Commander mit den zwei amerikanischen Offizieren bei uns eintraf und uns mit dieser Nachricht überraschte. Es war leicht verschmerzt, daß wir die Weihnachtsfeiertage und Neujahr noch hier bleiben müssen. Am 3. Januar werden wir zurückfliegen. Wir kommen nach Münster, dort werden wir von einem Physiker namens FRASER in Empfang genommen und werden zunächst noch einige Zeit dort bleiben. Aber wir können mit unseren Familien in Verbindung treten. Wir werden frei herumlaufen und bald wieder unseren Beruf ausüben können.

Die Institute sollen mit Erlaubnis der Franzosen abtransportiert und an noch unbekannte Plätze der englischen Zone verlegt werden. Wir sollen unser Eigentum wiedererhalten. Wer kann das glauben? Wer wagt es überhaupt, noch so zu denken, nachdem man acht Monate hier festgehalten wurde? Geschlafen haben wir in dieser Nacht kaum. Die Bridge-Party war bis halbdrei Uhr im Gange. Herr DIEBNER und ich sind etwas früher zu Bett gegangen. Aber als die letzten die Treppe hinaufpolterten, waren wir noch völlig wach. Die Freude ist kaum zu beschreiben. Freiheit heißt die Losung der Stunde. Die Zeit des Pläneschmiedens beginnt. Alle sind schon eifrig dabei.

Jetzt muß ich die Quantenmechanik in höchstem Tempo weiterführen. Wir hatten gerade die Absicht, über die Weihnachtsfeiertage Vorlesungsferien zu halten, aber jetzt heißt es viel arbeiten. Bis zur Rückkehr möchten wir noch etwas weitergekommen sein.

Ereignisse der letzten Zeit: Dem Captain wurde ein kleines Album überreicht, das Herr GERLACH angefertigt hat. Die Lebensläufe der zehn Detaineden sind darin enthalten.

Montag, 31. Dezember 1945
Zum Jahresende will ich noch kurz über die Weihnachtstage dieses trüben Jahres berichten. Die Amerikaner hatten uns am Montag vor acht Tagen programmgemäß wieder verlassen. Nur der Commander blieb zurück. Er nahm am Montag an unserer Weihnachtsfeier teil. HEISENBERG spielte, und wir sangen ‹Stille Nacht, heilige Nacht . . .› Dann hielt VON WEIZSÄCKER eine kurze Rede, in der er von den Gedanken sprach, die uns und unsere Angehörigen in dieser Stunde der Trennung wohl bewegen mögen. Anschließend verlas er das Weihnachtsevangelium. Was soll man nun über dieses trübselige Jahr 1945 sagen? Freilich muß man seinem Schöpfer danken, daß er einem die Angehörigen in dieser schwierigen Zeit gesund erhalten hat. Man muß froh sein, daß man alles glücklich überstanden hat, daß dieser wahnsinnige Krieg ein Ende fand, daß überhaupt

noch Spuren von Hoffnungen übrigblieben und daß man verhältnismäßig glimpflich davongekommen ist. Man darf aber auch nicht vergessen, was dieses Jahr an Unglück für uns brachte: den furchtbaren Zusammenbruch des deutschen Heeres und Volkes, die völlige Vernichtung des deutschen Verkehrswesens, die Zerstückelung Deutschlands, die Besetzung und Ausplünderung großer Teile davon, die Vertreibung der Deutschen aus den Ostgebieten, Hunger und Kälte in den ersten Wintermonaten. Dies alles hat dieses Jahr 1945 an Gutem und Bösem auf dem Gewissen. Man wird ihm sicher nicht schmerzlich nachtrauern. Was aber bringt uns 1946? Befindet sich die Welt schon wieder in einem Zustand der Entwicklung nach oben? Werden die Menschen, die diese Welt lenken, mit Vernunft, Einsicht und Zurückhaltung handeln?

Montag, 7. Januar 1946

Endlich wieder auf deutschem Boden! Unser Flug von Huntingdon nach Bückeburg fand programmgemäß am 3. Januar statt. Kurz vorher erfuhren wir, daß wir nicht nach Münster, sondern nach Lübbecke, Krs. Minden in Westfalen, gebracht werden. Also wieder Geheimhaltung. Furchtbar, so dachten wir. Als wir aber in Bückeburg einen Omnibus bestiegen, sagte plötzlich der Captain, daß wir in einem Laden untergebracht würden. Und so war es denn auch. Es ging ins Dorf Alswede. Dort hatte man 14 Tage vorher ein Konfektionsgeschäft ausgeräumt und für uns vorbereitet. Noch am Abend wurde bekanntgegeben, daß der Geheimhaltungsbann gelöst sei und wir ab 4. 1. 1946 auf der Straße frei herumlaufen können.

Gestern, am Sonntag, wurde uns gestattet, Briefe an unsere Angehörigen zu schreiben. Es geht dem normalen Leben entgegen. Die volle Freiheit haben wir freilich noch nicht. Die englische Zone dürfen wir nicht verlassen. Aber auch da haben wir gewisse, wenn auch nur temporäre Hoffnungen. Denn es ist ganz gewiß, daß wir auf lange Sicht in der englischen Zone ansässig gemacht werden. Wir sind damit einverstanden, wenn wir wieder in Deutschland sind, Pläne schmieden und das tun und lassen können, was wir wollen.

Sonntag, 3. Februar 1946

Am 28. Januar haben Herr Diebner und Herr Harteck uns verlassen. Harteck kehrte in sein Hamburger Institut zurück, Diebner wird in Hamburg ein privates Institut für Meßgeräte aufbauen.

Heute war Herr Fraser hier. Er teilte uns mit, daß Gerlach nach Bonn gebracht würde. Dort erhält er eine Gastprofessur. Hahn und Heisenberg siedeln Mitte Februar nach Göttingen über. Sobald die Dinge dort geklärt sind, ziehen die letzten fünf, Herr von Laue, Weizsäcker, Wirtz, Korsching und ich, nach, um im ehemaligen Luftfahrtinstitut für Strömungsforschung ein neues Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik aufzubauen. Ob wir jemals unser Hechinger Institut und seine Ausrüstung wiedersehen, ist noch ungewiß.

Sonnabend, 16. Februar 1946
Die wichtigsten Ereignisse der letzten Zeit sind: 1. FRASERS Besuch am Sonntag vor acht Tagen, 2. HAHNS und HEISENBERGS Abreise nach Göttingen, 3. Besuch von GROTH und HARTECK gestern und heute. Herr FRASER teilte uns mit, daß der schriftliche Befehl dafür vorliege, die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft ins Gebäude der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen zu verlegen. Die unmittelbare Folge dieses Erlasses der Militärregierung war die Abreise von HAHN und HEISENBERG nach Göttingen. Wir anderen rechnen Anfang März mit der Übersiedlung.

12. März 1946
Rückkehr von Alswede nach Göttingen. Ende der Gefangenschaft. Ende einer recht ungewöhnlichen Gefangenschaft.

5. VON 1946 BIS 1955

Durch die Auflagen der Militärregierung war inzwischen sichergestellt, daß in Deutschland keinerlei Arbeiten zur Kernenergieverwertung wieder aufgenommen werden konnten. Die Gesetze Nr. 22 und 25 untersagten die Betätigung auf diesem Gebiet vollständig. Die an diesen Arbeiten interessierten Physiker mußten es für aussichtslos halten, sich wieder mit solchen Fragen zu beschäftigen. So hat sich in Göttingen das neue Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik, das später den Namen Max-Planck-Institut erhielt, unter HEISENBERG wieder Forschungsaufgaben auf dem Gebiete der kosmischen Ultrastrahlung und der Elementarteilchen zugewandt. Die Hamburger Gruppe unter HARTECK befaßte sich nach 1945 mit Fragen der physikalischen Chemie und der chemischen Kinetik, die keinerlei Berührung mit Kernenergieproblemen besaß, ähnlich die anderen Arbeitsgruppen. GERLACH durfte in der Zwischenzeit von Bonn wieder nach München zurückkehren, um dort seine alte Lehrtätigkeit an der Universität aufzunehmen, und HAHN übernahm die Leitung der neu gegründeten Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften in Göttingen, während VON LAUE nach einer Übergangszeit in Göttingen zum Direktor des Max-Planck-Institutes für physikalische Chemie in Berlin bestellt wurde.

Dagegen entwickelte sich nach Kriegsende in den Vereinigten Staaten, in England, Frankreich und Rußland eine Kerntechnik größten Stiles, an der die Bundesrepublik völlig unbeteiligt blieb.

Erst als sich die Anzeichen dafür mehrten, daß Westdeutschland seine Souveränität erhalten sollte, gab es Bemühungen, die Arbeiten zur Kernenergieverwertung in Deutschland wieder aufzunehmen. Noch bestand nur die Möglichkeit, sich rein theoretisch mit diesen Fragen zu beschäftigen, da die alliierten Militärgesetze nach wie vor ihre Gültigkeit besaßen und befolgt werden mußten. Erst mit der Souveränitätserklärung vom 5. 5. 1955 wurde deutschen Stellen offiziell die Möglichkeit hierfür zugestanden.

Das Ausland hatte inzwischen allerdings einen Stand der Kerntechnik erreicht, der es uns von vornherein recht schwierig machte, auch nur den Anschluß an die Entwicklung in anderen Ländern zu gewinnen. Wir standen vor der Frage, in welcher Weise die Wiederaufnahme dieser Arbeiten zu erfolgen habe, wobei dem Umstand Rechnung zu tragen war, daß es sich in der ersten Zeit zweifellos um eine Nachholentwicklung handelte. In der ersten Phase konnte es lediglich unser Bestreben sein, Menschen heranzubilden, da die alten Arbeitskreise aufgelöst waren. Außerdem mußten neue Organisationen als Träger der aufzunehmenden Arbeiten geschaffen werden.

Da die Verfasser dieses Berichtes speziell an der im norddeutschen Raum entwickelten Aktivität beteiligt waren und dieses Vorhaben von Anfang an mit einleiteten, mag es erlaubt sein, den Aufbau dieser Organisation in den Küstenländern etwas ausführlicher darzustellen. Damit sollen die Bemühungen der anderen Gruppen, etwa in München, Karlsruhe und unter den Professoren Brandt und Riezler im Lande Nordrhein-Westfalen, nicht geschmälert werden, die in diesen Ländern eigene Ziele verfolgen.

6. Die Gründung der Studiengesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt in Hamburg

Den Anstoß zur Wiederaufnahme der Arbeiten für die Kernenergieverwertung im norddeutschen Raum gab ein Brief an den Präsidenten der Schiffbautechnischen Gesellschaft in Hamburg, der am Tage vor der Souveränitätserklärung der Bundesrepublik, am 4. 5. 1955, an diesen abging. So wurde nicht nur eine Entwicklung ausgelöst, die zum Zusammenschluß der vier norddeutschen Küstenländer in der Bearbeitung aller Kernenergiefragen führte, sondern zugleich die Gründung einer Institution angeregt, die sich heute bereits praktisch mit den Fragen der Kernenergieverwertung befaßt und demnächst einen Kernreaktor für Forschungs- und Entwicklungszwecke in Betrieb nimmt. Dieser Brief wird im folgenden abgedruckt.

Hamburg, d. 4. Mai 1955

An den
Präsidenten der Schiffbautechnischen
Gesellschaft Hamburg,
Herrn Professor Dr. Schnadel

Hamburg 36
Neuer Wall 86

Betr.: Gründung eines Hamburger Arbeitsausschusses für Kernreaktoren und Entsendung zumindest eines hiesigen Vertreters zur internationalen Atomenergiekonferenz in Genf im August ds. Jahres.

Sehr geehrter Herr Präsident!

Erlauben Sie mir bitte, daß ich mich als Fachmitglied der Schiffbautechnischen Gesellschaft in einer Angelegenheit an Sie wende, die mich schon seit langem bewegt.

Wie Ihnen bekannt ist, wird die Bundesrepublik nach Ratifizierung der Pariser Verträge die Möglichkeit haben, in beschränktem Umfang Untersuchungen auf dem Gebiete der Atomenergie und ihrer Auswertung durchzuführen. Wahrscheinlich werden Kernreaktoren bis zu einer Gesamtgröße von 10 000 KW-Leistung betrieben werden dürfen. Insbesondere in München und in Karlsruhe arbeiten maßgebende Kreise bereits darauf hin, Reaktoren, die in der nächsten Zeit in Deutschland aufgestellt werden sollen, in diese Städte zu verlegen. So sehr die Initiative von Persönlichkeiten des öffentlichen Lebens, von Wissenschaftlern und Technikern in diesen Städten zu begrüßen ist, so sehr bedauere ich, daß Bestrebungen im Hinblick auf die Errichtung von Atomreaktoren in Hamburg meines Erachtens bisher nicht bekannt geworden sind. Ich glaube, daß ähnliche Antriebe gerade aber auch von unserer Hansestadt mit ausgehen müssen, weil die Gewinnung von Atomenergie für den in unserer Stadt so lebendigen Schiffbau von ganz besonderer und für die Zukunft wohl auch von entscheidender Bedeutung sein wird. Die Gründe, die maßgebende Persönlichkeiten — insbesondere des Hamburger Schiffbaues — bisher davon abgehalten haben, sich mit den Fragen der Auswertung der Atomenergie intensiver zu befassen, sind mir nicht bekannt. Ein Mangel an geeigneten Fachkräften ist jedenfalls nicht vorhanden. Vielleicht fehlt lediglich der Anstoß, Hamburger Stellen mehr als bisher auf die Notwendigkeit hinzuweisen, die Atomenergie für den Antrieb von Schiffen auszunützen.

Diese Anregung zu geben fühle ich mich berechtigt, weil ich als Beauftragter des Heereswaffenamtes und des Reichsforschungsrates während der Kriegszeit mit der Bearbeitung aller Fragen zur Atomenergieausnutzung befaßt war und auch eine eigene Reaktoruntersuchungsstation zu leiten hatte.

Außerdem habe ich mich in der Folgezeit durch Verfolgung kernphysikalischer Literatur davon überzeugen können, daß diese Art der Energieauswertung für die Zukunft mit zu den wichtigsten Angelegenheiten beim Schiffbau gehören muß, was ja auch aus dem in Ihrer Gesellschaft im November 1954 veranstalteten Vortrag über die Möglichkeiten des Schiffsantriebes durch Atomenergie hervorging.

Ich wende mich nun an Sie, weil ich in der Schiffbautechnischen Gesellschaft die offizielle Vertretung aller Schiffbauer sehe und weil ich glaube, daß von seiten unserer Gesellschaft aus eine Aktivierung der Schiffskonstrukteure für die Atomenergiegewinnung am ehesten möglich ist.

Die allgemeine Meinungsbildung über Atomenergiegewinnung in Deutschland, wie sie durch Pressemeldungen bekannt wurde, erfüllt mich mit einer gewissen Sorge, weil die bekanntgewordenen Pläne im wesentlichen darauf abzuzielen scheinen, Reaktoren vor allem zur Herstellung von radioaktiven Präparaten und zur Untersuchung der Arbeitsweise von Piles zu bauen, während die direkte Ausnutzung der Atomenergie im Hinblick auf eine technische Auswertung der verfügbaren Wärme offenbar nicht so sehr im Vordergrund steht und die an sich erfreuliche Initiative mehr oder weniger von Vertretern der reinen Grundlagenforschung auszugehen scheint.

Auch wenn nur unter diesen Voraussetzungen gearbeitet werden sollte, halte ich es dennoch für außerordentlich wichtig, daß gerade in Hamburg Untersuchungen zur Auswertung der Atomenergie aufgenommen werden, weil mit Rücksicht auf die speziellen Erfordernisse des Schiffbaues das Ziel auf lange Sicht hier in Hamburg ein anderes sein wird und sein muß als in den genannten Versuchsstätten in München bzw. Karlsruhe. Es muß

also unser Ziel sein, eine eigene Gruppe von Technikern und Wissenschaftlern zu bilden, die sich im Hinblick auf die hiesigen Erfordernisse mit großer Aktivität der praktischen Atomenergieauswertung widmet und die möglichst bald einen eigenen Reaktor für unsere Hansestadt betreiben sollte. Wir müßten daher in unserer speziellen Situation einfach danach trachten, die Erfahrungen anderer Länder so gut wie nur möglich zu übernehmen, um sofort mit einem dem jetzigen Stand der Entwicklung angepaßten Reaktor zu beginnen, sei es, daß wir Fachkräfte mit industriellen Erfahrungen beispielsweise nach Frankreich, England oder nach den Vereinigten Staaten schicken, sei es, daß wir junge ausgebildete Kräfte, die bereits selbst über Reaktorerfahrungen verfügen, aus diesen Ländern zu uns rufen, damit sie uns bei der Aufstellung behilflich sind. In diesem Zusammenhang kann ich darauf hinweisen, daß beispielsweise in der amerikanischen Zeitschrift ‹*Nucleonics*› Heft III und Heft XI 1954 Anzeigen zu finden sind, in denen diese Firmen ihre Reaktorpläne zum Kauf anbieten. Ja, es ist sogar denkbar, aus den Vereinigten Staaten einfach einen fertigen Pile zu beziehen und hier aufzustellen.

Weiter sollten wir auf alle Fälle zumindest einen Hamburger *Vertreter zur ersten großen internationalen Atomenergiekonferenz*, die am 18. August in Genf beginnt, entsenden, der uns über den derzeitigen Stand der Reaktortechnik informiert.

Ich halte es für völlig abwegig, etwa mit Rücksicht auf die nationale Verteidigung Reaktoren nicht nach Hamburg verlegen zu wollen. Einmal ist ein Pile heute beinahe schon handelsüblich und stellt keinerlei militärisches oder sonstiges Geheimnis mehr dar, bis auf die in der Industrie üblichen technischen Variationen, zum anderen bauen wir die Schiffe ja auch in Hamburg und müssen vermutlich die Reaktoren, wenn Schiffe damit betrieben werden sollen, ebenfalls hier einsetzen. Ich sehe also überhaupt keine Schwierigkeiten, wenn wir einen Reaktor gleich selbst in unserer Stadt oder in deren Nähe in Betrieb nehmen. Schließlich liegen München und Karlsruhe auch nicht westlich des Rheins, und es ist für einen modernen Bomber ziemlich gleichgültig, ob er den Auftrag bekommt, von Warschau aus Hamburg oder München bzw. Karlsruhe anzufliegen, um etwa Industrieanlagen, zu denen heute ein Reaktor gehört, zu vernichten.

Mein Vorschlag geht nun dahin, daß vielleicht durch Sie als den Vorsitzenden der Schiffbautechnischen Gesellschaft in Anbetracht des jetzigen Zeitpunktes die maßgebenden Kreise von Schiffbauern in Hamburg auf die Bedeutung der Reaktorentwicklung für unsere Stadt hingewiesen werden. Zugleich sollte *sofort* von unserer Gesellschaft und den am Schiffbau interessierten Kreisen an der naturwissenschaftlichen Fakultät der Hamburger Universität die *Gründung eines Arbeitsausschusses* für Atomenergiegewinnung vorgenommen werden, zu dem Behörden, Wirtschaftler, Schiffskonstrukteure, Maschinenbauer, Physiker, Wärmeingenieure und Chemiker, vielleicht auch maßgebende Politiker unserer Stadt hinzugezogen werden. Dieser Arbeitsausschuß könnte beispielsweise im Anschluß an einen ähnlichen Vortrag wie anläßlich der Jahrestagung, nur vor einem wesentlich erweiterten Kreise, gebildet werden.

Ich möchte mit aller Deutlichkeit betonen, daß ich die Entwicklung von Atomenergieprojekten in Deutschland im jetzigen Stadium nicht so sehr für eine wissenschaftliche Angelegenheit halte als vielmehr im wesentlichen für eine Aufgabe von Wirtschaftlern, Ingenieuren und Technologen. Daraus folgt, daß die Initiative zur Ausnutzung der Atomenergie in Hamburg gerade von seiten der Wirtschaft, besonders der Industrie, kommen muß. Angesichts der nun in Kürze einsetzenden freieren Entwicklung haben wir aber kaum noch Zeit zu verlieren, wenn unsere Stadt an der so überaus wichtigen Entwicklung überhaupt beteiligt sein soll.

Ich wäre Ihnen deshalb unter Hinweis auf die Wichtigkeit dieses Pile-Projektes für die Hamburger Wirtschaft außerordentlich dankbar, wenn Sie Ihren Einfluß für eine so wichtige Aufgabe, wie sie die Ausnutzung der Atomenergie darstellt, bei der Schiffbautechnischen Gesellschaft und bei den angesprochenen Hamburger Kreisen nach besten Kräften geltend machen könnten. Die Voraussetzungen für die Aufnahme von Arbeiten zur Atomenergiegewinnung sind in Hamburg sehr günstig, ja, Hamburg scheint mir hierfür geradezu prädestiniert zu sein.

Wir verfügen über eine Reihe von Firmen, die sehr wichtige Einzelteile für solche Piles bauen können und die gute Fachkräfte für einen Reaktorbetrieb aufweisen. Wir haben am Physikalischen Staatsinstitut Hamburg einen Kernphysiker, der schon während des Krieges mit an der Entwicklung der Atomenergie beteiligt war und der auch die neuere Entwicklung der Kernenergiegewinnung verfolgt hat, wie sein Vortrag bei der Tagung unserer Gesellschaft 1954 zeigte. Dem Vernehmen nach sind unter den führenden Schiffbauern Hamburgs noch eine Reihe weiterer Persönlichkeiten an der Ausnützung der Atomenergie gerade für den Schiffsantrieb grundsätzlich sehr interessiert. Es käme also nur darauf an, diese guten Voraussetzungen mit den Möglichkeiten, die Wirtschaft und Technik in Hamburg bieten, zu koppeln, um zu einer für die Zukunft fruchtbaren Entwicklung und damit zur Ausnutzung von Atomenergie für unsere Zwecke zu kommen.

Angesichts der ungeheuren Bedeutung für den Schiffbau, damit für die industrielle Entwicklung unserer Stadt, sowie für Gebiete wie die Erzeugung von Elektrizität u. a., dürfte es nicht schwerfallen, die zum Aufbau und zum Betrieb von Reaktoren notwendigen Mittel durch Wirtschaft und Staat aufzubringen, um entweder einen fertigen Reaktor direkt aus den USA zu beziehen oder aber einen in Hamburg nach den in den USA vorliegenden und beziehbaren Plänen für reine Betriebszwecke selbst zu bauen. Alle technischen Voraussetzungen hierfür sind jedenfalls gegeben.

Mit vorzüglicher Hochachtung
Ihr sehr ergebener
(Dr. K. Diebner)

P.S.: Einen Durchschlag dieses Briefes habe ich dem Amt für Wirtschaft und Verkehr, je einen weiteren dem Rektor der Universität Hamburg, Herrn Prof. Kolb, und dem Dekan der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät, Herrn Prof. Weinblum, übergeben.

Schiffbautechnische Gesellschaft e. V.
Berlin-Hamburg
Der Vorsitzende
Schn/Dr (24a) Hamburg 36, den 23. Mai 1955

Betreff: Gründung eines Hamburger Arbeitsausschusses für Kernreaktoren und Entsendung zumindest eines hiesigen Vertreters zur internationalen Atomenergiekonferenz in Genf im August ds. J.

Sehr geehrter Herr Dr. Diebner!

Ich erhielt Ihr Schreiben vom 4. ds. Mts., und Ihre Ausführungen über einen Hamburger Arbeitsausschuß für Kernreaktoren haben mich sehr interessiert.

Mein Interesse an der Atomforschung habe ich dadurch bekundet, daß ich Herrn Prof. Bagge von der Universität Hamburg in seinen Bestrebungen, soweit als es möglich war, unterstützt habe. Ich bin aber zu sehr mit anderen Aufgaben belastet, als daß ich mich mit diesen Spezialfragen näher beschäftigen könnte. Ich möchte Ihnen daher vorschlagen, sich mit Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Illies von der Techn. Hochschule Hannover bzw. vom Institut für Schiffbau der Universität Hamburg in Verbindung zu setzen, der für solche Fragen im Rahmen der Schiffbautechnischen Gesellschaft zuständig ist.

Mit vorzüglicher Hochachtung
(Schnadel)

Die oben wiedergegebene Antwort des Präsidenten der Schiffbautechnischen Gesellschaft gab Veranlassung, mit Herrn Prof. ILLIES vom Lehrstuhl für Schiffsmaschinenbau der T. H. Hannover in Verbindung zu treten. Dies führte dazu, daß die Herren BAGGE, DIEBNER und ILLIES mit einer Reihe von weiteren Persönlichkeiten Verbindung aufnahmen, die dann am 29. Juni 1955 die Studiengesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffahrt und Industrie gründeten. Ziel dieser Gesellschaft war es, durch die Veranstaltung von Vorträgen, Herausgabe von Informationsblättern, Besprechungen mit Behörden, mit Kreisen der Wirtschaft, der Industrie und bei Bundesstellen Interesse für die Aufnahme von Arbeiten zur Kernenergieverwertung zu wecken und die nötigen Mittel zu beschaffen. Zugleich wurde als weiteres Ziel verfolgt, die Vorarbeiten zur Gründung einer Kapitalgesellschaft zu leisten, die in der Lage ist, Träger eines größeren Kernenergieunternehmens im norddeutschen Raum zu werden. Schon vor Gründung der Studiengesellschaft hatte sich am 13. Juni ein vorläufiger Arbeitsausschuß gebildet, der in seinem Informationsblatt Nr. 1 vom 13. Juni 1955 die Ziele dieser Gesellschaft genauer festlegte. U. a. spielten dabei die folgenden Gesichtspunkte eine Rolle:

1. Es sollten sofort von bekannten Lieferfirmen in den Vereinigten Staaten und in England Angebote über Kernreaktoren eingeholt werden.

2. Man war sich einig, daß die Anwendung der Kernenergie für Schiffsantriebe besondere Bedeutung besitzt, da bei Verwendung eines Kernreaktors die Mitnahme eines großen Brennstoffvorrates entfällt. Schiffsmaschinen — so heißt es im Text des Informationsblattes 1 weiter — unterscheiden sich in vieler Hinsicht von ortsfesten Maschinen, so daß eine Entwicklung speziell auf diesem Gebiet notwendig erscheint. Die Übertragung der hiermit gesammelten Erfahrung auf ortsfeste Anlagen dürfte leichter sein als umgekehrt.

Etwas ausführlicher befaßt sich das bereits am 16. Juni 1955 herausgegebene Informationsblatt Nr. 2 mit der Situation der Kernenergieverwertung in der Bundesrepublik. Dort heißt es: Durch die Rückgabe der Souveränität an die Bundesrepublik ist die Möglichkeit geschaffen worden, in Westdeutschland die Arbeiten zur Kernenergieverwertung aufzunehmen.

Da sich Deutschland seit 1945 an solchen Arbeiten nicht mehr beteiligen konnte, hat das Ausland inzwischen einen gewaltigen Vorsprung erreicht. Es erhebt sich die Frage, auf welchem Wege der Anschluß an die Entwicklung in den westlichen Ländern erreicht werden kann. Dafür gibt es im Prinzip zwei Möglichkeiten:

1. Man kann versuchen, die Neuentwicklung von Reaktoren auf wissenschaftlicher Basis voranzutreiben, so daß eine technische Energieauswertung möglich ist. Diese eigenständige Entwicklung ohne Anlehnung an das Ausland dürfte nach den Angaben anderer deutscher Arbeitsgruppen frühestens in etwa zehn Jahren zu betriebsfertigen Reaktoren für technische Zwecke führen.

2. Die andere Möglichkeit ist, daß man auf diese mehr von der Grundlagenforschung ausgehende Entwicklung verzichtet und den Anschluß an den Stand der Atomtechnik zu erreichen versucht, indem man fertige Reaktoren oder im Ausland ausgearbeitete Reaktorpläne kauft. Auf diese Weise wird ein kostspieliger und schon von anderer Seite längst durchgearbeiteter Weg der Entwicklung von Reaktoren weitgehend vermieden.

Da wir im Hinblick auf den raschen Fortschritt keine Zeit zu verlieren haben, scheint uns der zweite Weg zumindest ebenso berechtigt wie der erste. Er sollte deshalb unabhängig von diesem auch beschritten werden. Zudem besitzt er den Vorteil, in kürzerer Zeit die Gewinnung von Atomenergie rentabel zu gestalten. Die Studiengesellschaft für Kernenergieverwertung betrachtet es aber als ihre Aufgabe, eine Entwicklung der letzteren Art anzustreben. Nach einer Beschreibung des Weges, auf dem die Studiengesellschaft die Gelder für die Aufstellung von Reaktoren zu erlangen hofft, wird weiter ausgeführt: Die Notwendigkeit, auch den zweiten Weg unabhängig von dem ersten zu beschreiten, läßt sich noch durch folgende Gesichtspunkte begründen:

a) Die Entwicklung im Ausland ist bereits so weit, daß sogar in England, das später mit den Arbeiten eingesetzt hat als die Vereinigten Staaten, heute ein festumrissenes Zehnjahresprogramm für die Kernenergiegewinnung und deren Verwertung ausgearbeitet ist. In diesem Programm ist festgelegt, daß schon 1957 zwei Großkraftwerke mit etwa 100 000 kW Leistung gebaut werden sollen. In den Jahren 1958—1959 können weitere Kraftwerke fertiggestellt sein, und bereits 1960 beginnt der Bau von vier zusätzlichen Anlagen. Schon im Jahre 1965 dürfte die Elektrizitätsversorgung Englands auf Kernenergiebasis einer Energiekapazität von 5—6 Millionen Tonnen Kohle pro Jahr entsprechen. Die englische Regierung hofft darüber hinaus, im Jahre 1975 mit dieser Art der Energieerzeugung etwa so viel Leistung zu produzieren, wie zur Zeit in England insgesamt verbraucht wird.

Wenn auch damit zu rechnen ist, daß dieses Programm, das die englische Regierung in ihrem Weißbuch bekanntgegeben hat, nicht wörtlich so erfüllt wird, wie es bisher aufgestellt worden ist, muß doch gesagt werden, daß jede Abweichung nur im Sinne einer weiteren Steigerung der Energieerzeugung erfolgen wird. Jedenfalls hat

die Entwicklung auf dem Gebiete der Kernenergiegewinnung gezeigt, daß sie bisher jeder Planung weit vorausgeeilt ist.

b) Zur Durchführung dieses Programms der englischen Regierung sind nach einfachen Schätzungen Tausende von Tonnen Uran notwendig, die entweder als natürliches Uran oder als mit höher konzentriertem Brennstoff vergütetes verwendet werden müssen.

Es ist anzunehmen, daß die deutschen Uranreserven nach dem derzeitigen Stand ihrer Erschließung bei weitem nicht ausreichen, um ein Programm von ähnlicher Größenordnung auf rein deutscher Rohstoffbasis durchzuführen. Außerdem werden wir so bald nicht in der Lage sein, natürliches Uran durch die Beimengung von Plutonium zu vergüten. Es ist dabei ja zu bedenken, daß Plutonium erst nach einer Reaktorbetriebsdauer von einigen Jahren in Mengen zur Verfügung steht, die technisch von Interesse sind.

c) Die Kosten für die Erstellung eines Atomkraftwerkes bewegen sich in einem Rahmen, der bei einem Vergleich mit den Kosten eines Kohlenkraftwerkes durchaus tragbar scheint. Dies geht aus den Mitteilungen der englischen Regierung hervor.

Schon wenn man in Deutschland eine Entwicklung anstreben sollte, die der Planung in England entspricht, müßte die deutsche Energieerzeugung auf Kernenergiebasis der derzeitigen Leistung aller deutschen Elektrizitätswerke zusammen entsprechen. Bei einer augenblicklichen Leistung von etwa 20 000 MW in der Bundesrepublik entspräche dieses einem Brennstoffbedarf von 0,4 g Uran 235 pro Sekunde. In einem Zeitraum von etwa fünf Jahren wäre das insgesamt eine Menge von 72 Tonnen reinem Uran 235. Diese Menge ist in rund 10 000 Tonnen natürlichen Urans enthalten. Da der Austausch des Urans aber schon erfolgen muß, wenn etwa 10 % des eigentlichen Kernbrennstoffs U 235 verbraucht sind, hat man mit einem noch größeren Bedarf an natürlichem Uran zu rechnen, insgesamt mit etwa 40 000 bis 50 000 Tonnen.

Diese Menge wäre unter den obigen Voraussetzungen in etwa 10 Jahren in der deutschen Energiewirtschaft zu investieren, falls nicht neue technische Gesichtspunkte Einsparungen ermöglichen. Eine Uranförderung dieses Umfanges auf deutschem Boden steht z. Z. außerhalb jeder Diskussion. Es erscheint deshalb sinnvoll, sich von vornherein auf den Anschluß an das Ausland einzustellen.

7. Atomministerium — Gründung der Kapitalgesellschaft

Nach diesen ersten Vorarbeiten entwickelte sich im norddeutschen Küstenraum ein reges Interesse der Industrie für die Fragen der Kernenergieverwertung, das auch auf seiten der Hamburger Wirtschaftsbehörde lebhaft geteilt und insbesondere von ihrem leitenden Regierungsdirektor Dr. Schrack sehr gefördert wurde. Auf Anregung des Hamburger Bürgermeisters Dr. Sieveking gelang es diesem in Verbindung mit dem Ministerpräsidenten von Schleswig-Holstein

von Hassel, die Wirtschaftsminister der vier norddeutschen Küstenländer zu gemeinsamem Vorgehen in allen Kernenergiefragen zu veranlassen, was in einer Ministerkonferenz vom 26. 11. 1956 endgültig beschlossen wurde.

Inzwischen war Anfang Oktober 1955 das Bundesministerium für Atomfragen gegründet worden, mit dem die Studiengesellschaft alsbald enge Verbindung aufnahm. Der neue Bundesminister für Atomfragen, Strauss, stand dem norddeutschen Vorhaben von Anfang an sehr wohlwollend gegenüber. Seiner Förderung, der Mithilfe des Bundesverkehrsministeriums Abt. Seeschiffahrt unter ihrem Leiter Ministerialdirektor Dr. Schubert, der Unterstützung durch die vier norddeutschen Küstenländer und der Hilfsbereitschaft der Industrie[1] ist es zu verdanken, daß am 18. April 1956 eine Betriebsgesellschaft, die Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt m. b. H., gegründet werden konnte, die die praktische Durchführung der Arbeiten zur Kernenergieverwertung übernommen hat. Ein erster Schritt zur Realisierung dieses Programms war die Beschaffung eines Forschungsreaktors, der noch 1957 geliefert wird, und die Heranbildung von Arbeitsgruppen für die zukünftige Tätigkeit an diesem Gerät sowie an den Leistungsreaktoren, die noch kommen sollen.

1 Die Verfasser dieses Berichtes möchten an dieser Stelle Herrn H. Wilhelm Schaumann für die personelle und finanzielle Hilfe danken, die er in der von Ungewißheiten erfüllten Anlaufzeit selbstlos der Studiengesellschaft gewährt hat.

CALDER HALL

Von Kenneth Jay

Als im Herbst 1956 das britische Atomkraftwerk in Calder Hall, Cumberland, begann, dem staatlichen Netzwerk des Landes beträchtliche Mengen von Elektrizität zuzuführen, war Großbritannien um eine neue industrielle Triebkraft reicher geworden. Dieses Ereignis war ein Meilenstein in der Industrie- und Wirtschaftsgeschichte nicht nur Englands, sondern der ganzen Welt. Schon früher hatten die Vereinigten Staaten und die Sowjetunion in Versuchswerken die Möglichkeiten der Kernkraft durch Erzeugung geringer Beträge von Elektrizität erwiesen, und die Vereinigten Staaten besitzen seit einiger Zeit ein mit Atomenergie betriebenes Unterseeboot. Aber Großbritanniens Calder Hall-Werk ist das erste, das in wahrhaft industriellem Maßstab arbeitet. Seiner Anlage nach soll es etwa 90000 Kilowatt elektrischer Kraft erzeugen und gleichzeitig für militärische Zwecke den künstlichen Kerntreibstoff Plutonium herstellen.

Dieses Buch ist ein Bericht über Calder Hall. Sein Zweck ist es, die Gedanken und Ereignisse zu beschreiben, die schließlich zu dem für das Werk gewählten Entwurf geführt haben: die ersten tastenden Versuche und plötzlichen Eingebungen, die systematische Prüfung der Durchführbarkeit verschiedener Vorschläge — theoretische wie experimentelle Prüfung —, die Ausarbeitung eines technischen Plans, die eigentliche Konstruktion und die mit ihr Hand in Hand gehenden Entwicklungen und Forschungen. Endlich aber sollen Zukunftsmöglichkeiten von Kraftwerken dieser Art und ihre Rolle im Zehnjahresplan, den die englische Regierung für industrielle Atomenergie aufgestellt hat, erörtert werden. Aber bevor wir ins einzelne gehen, wollen wir dem Leser zunächst nochmals die das Atom betreffenden Grundtatsachen und die der Atomenergie zugrundeliegenden Prinzipien kurz ins Gedächtnis rufen.

Atome und Kerntreibstoffe

Ein Atom Materie ist wie ein unvorstellbar kleines Sonnensystem. Es hat eine zentrale Sonne, den sogenannten Kern, der von Elektronen, den Planeten des Systems, umkreist wird. Der Durchmesser des Kerns beträgt nur ungefähr ein Zehntausendstel von dem des Atoms, doch trotz seiner unendlich kleinen Ausdehnung ist der Kern selbst ein komplexer Körper, der aus Teilchen namens Protonen und Neutronen, den allerwinzigsten Bausteinen der Materie, besteht. Fast die gesamte Masse des Atoms ist in dem Kern konzentriert, denn die Masse eines planetaren Elektrons beträgt nicht einmal den tausendsten Teil der Masse eines Protons oder Neutrons.

Wenn Materie einer chemischen Reaktion — wie etwa der Verbrennung — ausgesetzt wird, dann ordnen sich die planetaren Elektronen der Atome um, und dadurch wird Energie frei. Diese Energie äußert sich im allgemeinen als Wärme, wie zum Beispiel im Falle eines Kohlenfeuers, oder als Licht, wie bei einer Gasflamme. Bei

diesen Reaktionen bleiben die Kerne der daran beteiligten Atome unberührt. Unter gewissen Umständen ist es aber möglich, eine Reaktion hervorzurufen, in der der Kern gestört oder sogar aufgebrochen wird, und in einem solchen Falle kann sehr viel mehr Energie befreit werden, als wenn lediglich die planetaren Elektronen im Spiele sind. Im Gegensatz zu chemischen Reaktionen können Kernreaktionen im allgemeinen nicht von einem Atom zum nächsten übergreifen; jeder Kern muß einzeln behandelt werden. Aber diese Regel hat eine Ausnahme, nämlich die als Kernspaltung bezeichnete Reaktion, die die Voraussetzung der Kernkraft bildet. Eine Spaltung tritt ein, wenn ein Kern gewisser Elemente von einem Neutron getroffen wird; der Kern absorbiert das Neutron, sein Gleichgewicht wird gestört, und er teilt sich in zwei mehr oder weniger gleiche Teile. Bei dieser Spaltung wird Energie freigesetzt und außerdem mindestens ein weiteres Neutron — genauer: im Durchschnitt etwa 2,5 Neutronen bei jeder Spaltung. Diese letzteren sind höchst wichtig, weil sie weitere Spaltungen in benachbarten Atomen hervorrufen können, die nun ihrerseits mehr Neutronen freisetzen, die eine neue Generation von Spaltungen verursachen, und so weiter. Auf diese Weise wird eine selbsterhaltende Kettenreaktion produziert, ein Kernfeuer.

Es gibt vielerlei Treibstoffe, die ein gewöhnliches Feuer nähren können — Kohle, Öl, Gas, Holz, sogar Metalle —, aber nur ein einziger in der Natur vorkommender Stoff kann ein Kernfeuer am Brennen erhalten. Das ist das Element Uran, ein Metall, das schwerer ist als Blei. Hier fragen Laien häufig: ‹Wie zündet Ihr eines dieser Kernfeuer an? Müßt Ihr denn Euren Reaktor anknipsen?› Worauf zu erwidern ist, daß Uran andauernd Neutronen auswirft, bevor es noch in den Reaktor gebracht wird, daß aber das Kernfeuer erst dann beginnt, wenn unter den zur Erhaltung einer Kettenreaktion günstigen Bedingungen des Reaktors eine genügende Menge Uran beisammen ist. Diese Menge heißt die kritische Größe. Wenn das Kernfeuer ‹sich entzündet›, dann sagt man: der Reaktor wird ‹kritisch› oder ‹divergent›. Freilich muß man dabei im Auge behalten, daß nur ein kleiner Bruchteil der Uranatome im Sinne der Kernspaltung ‹verbrennt›. Uran besteht aus einer Mischung von zwei Atomarten, deren eine etwas leichter ist als die andere. Diese verschiedenen Atome werden Isotope[1] des Urans genannt; sie verhalten sich bei gewöhnlichen chemischen Reaktionen auf ganz ähnliche Weise, aber ihre Kerne unterscheiden sich so weit, daß sie ein ganz verschiedenes Verhalten an den Tag legen, wenn sie von Neutronen getroffen werden. Das leichtere Isotop, Uran 235, läßt sich ohne Schwierigkeiten durch Neutronen von geringer Energie spalten, nicht aber das schwerere Isotop, Uran 238. Nun enthält das natürlich vorkommende Uran nur 0,7 Prozent Uran 235; der ganze Rest ist Uran 238. Also ist nur 0,7 Prozent des natürlichen Urans Kerntreibstoff.

---

[1] Über Isotope vgl. rde Bd. 49, ALBERT DUCROCQ, Atomwissenschaft und Urgeschichte, S. 88 ff.

Uran 238 kann jedoch in das Isotop eines anderen Elements verwandelt werden, das auch Spaltungen erleidet und daher ‹brennt›. Wiederum spielt das allgegenwärtige Neutron eine wesentliche Rolle. Wenn ein Neutron einen Kern von Uran 238 trifft, so wird es absorbiert; nach einigen internen Umordnungen, von Emissionen von Teilchen begleitet, wird der Kern in den eines Isotops des Elements Plutonium verwandelt, nämlich Plutonium 239. Dieser neue Stoff ist ein noch besserer Kerntreibstoff als Uran 235. In ähnlicher Weise kann ein dritter Kerntreibstoff hergestellt werden, indem das Element Thorium Neutronen ausgesetzt wird; das Thoriumisotop der Masse 232 absorbiert Neutronen und wird in Uran 233 verwandelt, ein spaltbares Isotop des Urans, das in der Natur nicht vorkommt.

Diese drei also, Uran 235, Plutonium 239 und Uran 233, sind die Treibstoffe des Atomzeitalters; die wesentlichen Rohstoffe, aus de-

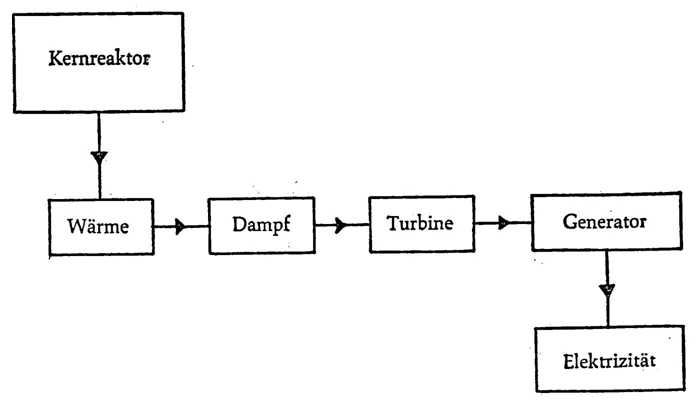


Abb. 1: Phasen der Elektrizitätserzeugung durch Kernspaltung

nen sie extrahiert oder durch Kernumwandlung hergestellt werden, sind das natürliche Uran und Thorium. Das Bemerkenswerte an diesen Kerntreibstoffen ist im Vergleich zu gewöhnlichen chemischen Brennstoffen der ungeheure Energiebetrag, der mit jedem Pfund verbrannten Treibstoffs freigesetzt wird. Wenn zum Beispiel alle Atome in 1 Lb Uran gespalten würden, dann würde so viel Energie frei werden wie durch 3 Millionen Lbs (oder 1500 tons) Kohle. Eine solche vollständige Nutzbarmachung des Urans ist praktisch zwar noch nicht gelungen, ist aber dank der Tatsache, daß das nicht spaltbare Uran 238 in spaltbares Plutonium verwandelt werden kann, theoretisch immerhin denkbar.

Die in der Spaltung befreite Energie wird in erster Linie auf die zwei Bruchstücke des gespaltenen Kernes übertragen, die sich daher mit großer Geschwindigkeit voneinander fortbewegen. Noch gibt es keine Methode, die Energie dieser Fragmente direkt zu verwerten; aber durch die Bewegung innerhalb des Urans wird das Metall er-

hitzt, und diese Hitze kann abgeleitet und durch eine Dampfmaschine oder Gasturbine in mechanische Energie verwandelt werden (Abb. 1). Kurz gesagt, atomare Energie wird dadurch gewonnen, daß ein ungewöhnlicher Stoff auf ungewöhnliche Weise verbrannt und die dabei auftretende Wärme in keineswegs ungewöhnlicher Art verwertet wird.

Kernreaktoren

Die neuen Treibstoffe werden in neuartigen Öfen verbrannt, den sogenannten Kernreaktoren oder Atommeilern. Da ein großer Teil dieses Beitrages mit der Anlage und dem Bau von Kernreaktoren besonderer Art zu tun haben wird, wollen wir diese Apparaturen etwas ausführlicher beschreiben. Wie schon erwähnt, wird ein Kernfeuer durch die in einer Spaltung befreiten Neutronen verbreitet, von denen etwa 2,5 auf jedes gespaltene Uranatom entfallen. Einige dieser Neutronen mögen verlorengehen, zum Beispiel dadurch, daß sie statt durch spaltbare Atome durch andere Stoffe absorbiert werden, oder daß sie aus dem Treibstoff entweichen; aber solange noch genug übrigbleiben, um ebensoviele neue Spaltungen in der neuen Generation hervorzurufen wie in der ersten, bleibt die Kettenreaktion erhalten, und das Feuer brennt in gleichmäßiger Stärke weiter. Voraussetzung ist freilich, daß ein gewisser Minimalbetrag von Treibstoff, die sogenannte kritische Größe, vorhanden ist. Bei geringeren Beträgen als dem kritischen entweichen so viele Neutronen, daß in der zweiten Generation weniger Spaltungen auftreten als in der ersten, und das Feuer erlischt. In der Praxis ist ein Reaktor so beschaffen, daß er etwas mehr als die kritische Menge Treibstoff enthält. Dann ist also ein Überschuß von Neutronen vorhanden, die imstande sind, mehr Spaltungen in der zweiten Generation hervorzurufen als in der ersten. Bliebe das Feuer sich selbst überlassen, würde es sich ausbreiten; aber durch Einführung von Stäben aus einem Neutronen absorbierenden Material kann der Überschuß an Neutronen aufgefangen und das Feuer in der erwünschten gleichbleibenden Stärke am Brennen erhalten werden.

Da Uran teuer ist, empfiehlt es sich, die kritische Größe möglichst niedrig zu halten. Die erste wichtige Erwägung bei dem Entwurf eines Reaktors gilt also der Notwendigkeit, Verluste der wesentlichen Neutronen — durch Einfangen oder Entweichen — auf ein Minimum zu reduzieren und so die größtmögliche Zahl zur Erhaltung der Reaktion verfügbar zu haben und den zur Kontrolle und zu anderen Zwecken nötigen Überschuß zu erzielen.

Eine zweite wichtige Erwägung betrifft die Energie der spaltungerzeugenden Neutronen. Neutronen, die bei einer Spaltung freigesetzt werden, bewegen sich mit hoher Geschwindigkeit; und dank solcher Geschwindigkeit sind sie imstande, weitere Spaltungen hervorzurufen, aber deren Wahrscheinlichkeit ist ziemlich gering, und daher könnte eine Reaktion nur in hochkonzentriertem Kerntreibstoff aufrechterhalten werden. Wenn andererseits die Bewegung der

Neutronen gebremst wird, so wächst die Wahrscheinlichkeit, daß sie Spaltungen hervorrufen, erheblich, auch wenn sie eher abgefangen werden mögen, ohne solches zu bewirken. Trotzdem fällt diese Möglichkeit nicht allzusehr ins Gewicht, und eine Reaktion kann in weniger konzentriertem Treibstoff aufrecht erhalten werden.

Es gibt also zwei Grundtypen von Reaktoren: schnelle Reaktoren, in denen die Neutronen bei hoher Geschwindigkeit benutzt, und

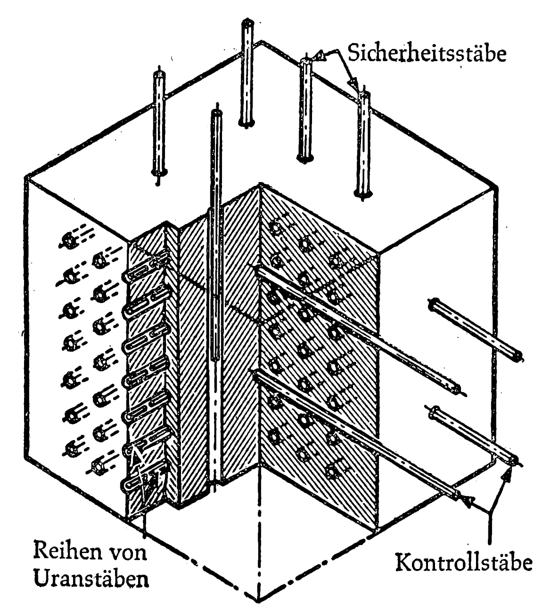


Abb. 2: Schema der Kernanordnung in BEPO

langsame oder thermische Reaktoren, in denen die Neutronen auf die sogenannten Wärmeenergien herabgebremst werden. Das Bremsen geschieht dadurch, daß man es den Neutronen ermöglicht, mit den Atomen eines leichten Materials, des sogenannten Moderators, in Kollision zu geraten: das Neutron prallt an den leichten Atomen ab und verliert bei jedem Stoß Energie, so wie ein Billardball beim Zusammenstoß mit einem anderen Ball Energie verliert, bis diese schließlich ganz gering ist. Nur ist zu beachten, daß diese Bremsaktion lediglich die Energie der die Spaltungen hervorrufenden Neutronen beeinflußt; die in der Spaltung erzeugte Energie und das Kraftniveau des Reaktors selbst bleiben unverändert.

Um möglichst wirksam zu sein, müssen die Bremsmaterialien aus leichten Atomen bestehen; zu den möglichen Stoffen gehören das Metall Beryllium, das Element Kohlenstoff und der Wasserstoff oder,

besser noch, sein schweres Isotop Deuterium; Wasserstoff und Deuterium werden in Form von Wasser oder schwerem Wasser verwendet. Der Urantreibstoff wird dann auf eine beträchtliche Masse des gewählten Moderators verteilt, wobei die Anordnung so berechnet wird, daß es zur größtmöglichen Bremsung der Neutronen kommt, bevor sie bei einem Minimum von Verlusten durch Einfangen oder Entweichen zu Spaltungen verwendet werden. Ein typischer thermischer Reaktor ist BEPO, der größere der beiden ersten in dem *Atomic Energy Research Establishment,* Harwell, erbauten Versuchsreaktoren. Die Prinzipien dieses Reaktors sind in der Abbildung 2 illustriert. Der Moderator ist Kohlenstoff in Form von Graphit. Der reagierende Kern besteht aus einem Würfel von Graphitblöcken, die so angeordnet sind, daß horizontale Kanäle das Graphit quer durchschneiden. In diese Kanäle werden Uranstäbe eingeführt, die man mit Hülsen aus einem geeigneten Leichtmetall umschließt, um sie vor Korrosion zu schützen und um das Entweichen von radioaktiven, bei der Spaltung erzeugten Stoffen zu verhindern. Der Betrieb des Reaktors wird dadurch kontrolliert, daß man Stahlstäbe, die mit einem neutronenabsorbierenden Material (z. B. Bor) geladen sind, in andere Kanäle des Kerns einführt. Um die Betriebsarbeiter vor den schädigenden Wirkungen der von den radioaktiven Stoffen ausgehenden Strahlungen zu schützen, ist der Kern in einen dicken Betonkasten eingebaut, der die Intensität der Strahlungen auf ein unschädliches Maß herabsetzt.

Die nächste wichtige Erwägung beim Entwurf gilt der Ableitung der in den Uranstäben erzeugten Wärme. Sie erfolgt im allgemeinen dadurch, daß irgendeine Flüssigkeit durch die Kanäle gepumpt wird, die dann über die Stäbe rinnt und die Wärme mit sich fortschwemmt. Im BEPO ist es Luft, die bei atmosphärischem Druck von starken Fächern durch die Kanäle getrieben wird. Die heiße Luft wird durch einen 60 Meter hohen Schornstein abgeleitet, wobei die Wärme sich größtenteils verflüchtigt. Würde allerdings die kühlende Luft unter Druck in einem geschlossenen Kreislauf über das Uran gepumpt, könnte die Wärme mit noch größerer Wirksamkeit abgeleitet werden. Jeder Kubikmeter der zusammengepreßten Luft könnte mehr Wärme mit sich forttragen, und die zum Betrieb der Pumpe nötige Kraft ließe sich stark reduzieren. In der Tat ist Luft, selbst unter Druck, kein gutes Kühlmittel, aber einige andere Gase sind recht brauchbar, jedenfalls brauchbar genug, um zu bewirken, daß die Wärme zur Erzeugung von Energie verwandt werden kann. Wie wir noch sehen werden, wird auch in den Reaktoren von Calder Hall Gas unter Druck als Kühlmittel verwendet. Noch geeignetere Kühlmittel sind Flüssigkeiten, wie etwa Wasser oder gewisse flüssige Metalle, und diese werden wahrscheinlich in künftigen Reaktoren Verwendung finden. Obwohl Flüssigkeiten wirksamer sind als Gase, sind sie in den ersten Reaktoren nicht gebraucht worden, und zwar aus mehreren Gründen, von denen wir später einige erörtern werden.

Die ersten Kernreaktoren wurden – in den Vereinigten Staaten – gebaut, um Plutonium für kriegswichtige Zwecke herzustellen, aber selbst mitten im Krieg dachten Wissenschaftler und Techniker schon darüber nach, wie man die Kernspaltung zur Erzeugung von industrieller Energie nutzbar machen könnte. Auf der Basis der oben beschriebenen Prinzipien gibt es Hunderte von möglichen Kombinationen, die in einem Reaktor Anwendung finden könnten: schnelle Reaktoren mit verschiedenen Treibstoffen und verschiedenen Kühlmethoden, thermische Reaktoren mit allen möglichen Kombinationen von Treibstoff, Bremsstoff und Kühlmitteln, und so weiter. Viele von diesen wären entweder unwirksam oder vom technischen Standpunkt aus unzweckmäßig, aber es gibt etwa fünfzehn bis zwanzig praktisch mögliche Varianten. Unter diesen befinden sich die gasgekühlten Meiler des eben beschriebenen Typs, und diese wurden während des Krieges tatsächlich zur Herstellung von Plutonium in Betracht gezogen; sie wurden aber zugunsten von wassergekühlten Reaktoren verworfen. Gegen Ende des Jahres 1944 begann die britisch-kanadische Forschungsgruppe in Montreal, Entwürfe für Reaktoren zu prüfen, die zu Forschungszwecken und zur Herstellung von Plutonium im Vereinigten Königreich gebaut werden sollten. Diese Wissenschaftler hatten keinerlei Erfahrung mit Reaktoren, und der Zugang zu den meisten der von den Amerikanern erworbenen Kenntnisse war ihnen verwehrt. Sie konzentrierten daher ihre Bemühungen hauptsächlich auf bestimmte Typen, von denen man wußte, daß sie sich in Amerika bewährt hatten, nämlich die langsamen Natururan-Reaktoren, insbesondere gasgekühlte und wassergekühlte.

Gegen Ende des Jahres 1945 wurde von der britischen Regierung ein staatliches Atomenergie-Unternehmen, dem *Ministry of Supply* (Beschaffungs-Ministerium) unterstellt, ins Leben gerufen. Es umfaßte das *Atomic Energy Research Establishment* (AERE) in Harwell und die Produktionsabteilung mit dem Hauptquartier in Risley; letztere sollte spaltbares Material in großem Maßstab herstellen. Im August 1946 wurden, nach einer Interimsperiode von sieben Monaten, beide der Dachorganisation der *United Kingdom Atomic Energy Authority* eingegliedert, AERE als ‹Forschungsgruppe› und das alte Produktions-Direktorium unter dem Namen ‹Industrielle Gruppe›[1].

Die erste Aufgabe der neuen Abteilung war es im Jahre 1945 gewesen, zwei Forschungsreaktoren für Harwell zu bauen. Während der größere von beiden, BEPO, noch im Bau begriffen war, wurde bereits ein noch größerer Meiler zur Plutoniumerzeugung in industriellem Maßstab entworfen. Es wurde beschlossen, hierbei natürliches Uran als Treibstoff und Graphit als Bremsstoff zu benutzen,

---

1 Siehe auch die folgenden Veröffentlichungen von K. E. B. Jay: *Harwell: The British Atomic Energy Research Establishment*, 1946–1951, HMSO,

und ursprünglich sollte der Meiler mit Wasser gekühlt werden, hauptsächlich deswegen, weil Wasser in den amerikanischen Meilern verwendet worden war und sich offenbar bewährt hatte. Es war indessen auf den dicht bevölkerten britischen Inseln viel schwieriger als in den Vereinigten Staaten, für einen wassergekühlten Meiler eine geeignete Örtlichkeit zu finden. Daher erwogen die Konstrukteure auch die Alternative der Gaskühlung — eine Methode, die ihnen freilich auf den ersten Blick als wenig anziehend erschien. Es sah so aus, als bedürfe es einer unverhältnismäßig großen Kraft, um das Gas durch den Reaktor zu pumpen; und es hatte auch den Anschein, als sei es zu zeitraubend, eine Methode zu entwickeln, mit der das Gas unter Hochdruck zu halten war. Wobei allerdings berücksichtigt werden muß, daß es den Konstrukteuren damals nicht um Krafterzeugung, sondern um möglichst baldige Herstellung von Plutonium zu tun war; deshalb waren sie nicht an thermischer Wirksamkeit interessiert, sondern nur daran, sich der Wärme so billig wie möglich zu entledigen.

Das Bild änderte sich aber vollkommen durch eine Modifikation der Treibstoffelemente, nämlich der Uranstäbe in ihren Aluminiumhülsen, wie sie von Ingenieuren der Industriellen Gruppe zu Beginn des Jahres 1947 vorgeschlagen wurde. Ursprünglich sollten gewöhnliche zylindrische Behälter verwendet werden. Die Ingenieure berechneten nun, daß die zur Beseitigung der Wärme erforderliche Pumpkraft stark vermindert werden konnte, wenn die Oberfläche der Behälter durch Anbringung von Rippen der ganzen Länge nach verbreitert wurde. Dies war keine neue Idee, aber man hatte es bisher nicht für möglich gehalten, daß sie in einem Reaktor durchführbar sei, weil man befürchtete, daß das zusätzliche Aluminium in den Rippen eine übergroße Zahl von Neutronen absorbieren würde. Nun aber zeigte sich, daß kein weiteres Metall erforderlich war, wenn die Dicke der Hülsenwand reduziert und das dabei eingesparte Metall in den Rippen verarbeitet wurde, und daß die Hülse dann immer noch stark genug für die ihr zugedachte Aufgabe war. Der nächste Schritt wurde in Harwell unternommen. Die Kurven der Forscher in Risley wurden mit Rücksicht auf niedrigere Druckgrade vergrößert, und diese Kurven zeigten, daß ein großer Reaktor bei der Verwendung von Rippen dadurch gekühlt werden konnte, daß Luft bei atmosphärischem Druck durchgeblasen wurde, ohne daß in dem Gebläse allzuviel Kraft verlorenging. Solch ein Meiler war an sich nicht so wirksam wie ein mit Gas unter Druck gekühlter, aber er konnte schneller gebaut werden, und daher konnte die Plutoniumgewinnung früher beginnen, als es andernfalls möglich schien, und die Nachteile der Wasserkühlung konnten vermieden werden. Auf Grund dieser Berechnungen wurden in Windscale luftgekühlte Reaktoren zur Herstellung von Plutonium erbaut.

1952. — *Britain's Atomic Factories: The Story of Atomic Energy Production in Britain*, HMSO, 1954. — *Atomic Energy Research at Harwell*, Butterworth, 1955.

Obwohl die Plutoniumgewinnung Prioritätsrecht hatte, waren die Ingenieure in Risley dort vor allem an der Krafterzeugung interessiert, und sie gingen daran, die Anwendung von Rippenhülsen unter diesem Gesichtspunkt zu vervollkommnen. Sie wiesen darauf hin, daß Rippen neben der Verminderung der Pumpkraft noch den weiteren Vorteil hatten, daß das Gas aus dem Reaktor bei einer Temperatur, die nicht weit unter der der Aluminiumhülsen selbst lag, austrat — kurz, daß Rippen bei einer gegebenen Maximaltemperatur der Hülsen ein heißeres Gas ergaben. Und heißeres Gas bedeutete die Möglichkeit von Krafterzeugung. Jedenfalls braucht man Hochdruckdampf, um auf wirksame Weise Kraft zu erzeugen; Hochdruck bedeutet hohe Temperatur im Dampf und daher auch in der zur Erzeugung des Dampfes verwendeten Wärmequelle (in diesem Falle Gas). So entwarfen denn die Ingenieure in Risley den Grundriß eines mit Gas unter Druck gekühlten Reaktors, der imstande sein sollte, Wärme in Dampf und dann weiter in Elektrizität zu verwandeln, und zwar mit einer Nutzwirkung von 15 bis 20 Prozent. Sie erwogen drei Gase als Kühlmittel: Kohlensäure, Wasserstoff und Helium (auch wenn die meisten Berechnungen für Kohlensäure gemacht wurden), und sie schlugen vor, den gesamten Kern mit einem Stahlpanzer zu umschließen, der dem Druck des Kühlgases standhalten konnte. Diese Idee war neuartig; bisher war nämlich bei der Planung gasgekühlter Reaktoren angenommen worden, daß das Gas durch besondere Rohre geblasen werden würde, für jeden Brennstoffkanal eines. Der neue Vorschlag sollte das Neutronen absorbierende Material im Kern stark reduzieren.

Wie schon bemerkt, galten zu dieser Zeit alle Bemühungen der raschen Herstellung von Plutonium, und neue Ideen waren nur annehmbar, soweit sie diesem Zweck zugute kamen. Rippenhülsen in einem luftgekühlten Meiler trugen gewiß zu schnellerer Plutoniumgewinnung bei und wurden gutgeheißen; einen druckfesten Panzer zu entwerfen und zu bauen, hätte zu lange gedauert. Dieser Vorschlag wurde daher verworfen, und damit auch der der Krafterzeugung als solcher. Aber die angedeuteten Möglichkeiten waren zu verlockend, als daß man sie gänzlich hätte fallen lassen, und während des Jahres 1947 prüfte man nochmals die erwähnten Ideen sowohl in Risley als auch in Harwell, denn man hoffte, daß nach ihnen ein Reaktor gebaut werden könnte, wenn die luftgekühlten Meiler fertig waren. Im Februar 1948 wurde zum ersten Male die Industrie mit herangezogen, als die Firma *Parolle Electrical Plant Co. Ltd.* beauftragt wurde, sich theoretisch im einzelnen mit der Dampfanlage eines Werkes wie des geplanten zu beschäftigen. Zu diesem Zweck wurde der Reaktor einfach als ein Kasten definiert, der eine gewisse Menge Wärme und Gas von bestimmter Temperatur und bestimmtem Druck erzeugt; das Problem war, die wirksamste Methode zur Verwendung dieser Wärme zu finden. Zu *Parolle* gesellten sich *C. A. Parsons Ltd.* und *Babcock and Wilcox Ltd.*, und

ihrer gemeinsamen Arbeit entsprangen Anregungen, die sich später als höchst wertvoll erweisen sollten. Zunächst freilich waren die Resultate noch unbrauchbar. Gegen Ende des Jahres 1948 waren die Verteidigungsaufträge der Industriellen Gruppe so dringlich, daß alle technischen Bemühungen ihnen allein zu gelten hatten, und die Beschäftigung mit krafterzeugenden Reaktoren mußte daher abgebrochen werden.

In Harwell setzte man sich inzwischen immer weiter mit dem Problem der Krafterzeugung auseinander. Hier wurden viele verschiedenartige Ideen für Reaktoren vorgebracht — jede Woche ein neuer Plan, wie jemand einmal sagte — und unter jedem Gesichtspunkt diskutiert. Die meisten waren theoretischer Natur, aber es wurden auch einige Experimente durchgeführt, darunter detaillierte Untersuchungen über die Wärmeübertragungseigenschaften verschiedener Sorten von Rippenhülsen, namentlich für die Meiler in Windscale, jedoch auch mit Ergebnissen von hohem Allgemeinwert. Im November 1949 begann eine Gruppe von Forschern in Zusammenarbeit mit der Industrie einen thermischen Reaktor zu planen, der als Prototyp der Kraftzentrale eines Unterseebootes dienen konnte. Dieser Reaktor sollte mit Heliumgas gekühlt werden, und um seine Größe zu beschränken, sollte der Treibstoff an Uran 235 etwas bereichert werden. Aus verschiedenen Gründen ist dieser Reaktor niemals gebaut worden, aber die sehr sorgfältige Untersuchung trug erheblich zu einer Klärung der Ideen über gasgekühlte Reaktoren bei. Wertvolle Aufschlüsse über die Kosten der Krafterzeugung waren auch aus anderen Quellen zu gewinnen. Die Konstruktion der Meiler in Windscale zeigte genauer, was der Bau solcher Maschinen wohl kosten würde. Kanadische Forscher in Chalk River konnten zum ersten Mal faktische Aussagen über die Zeitspanne machen, während der Uran-Spaltelemente in einem Reaktor belassen werden können, bevor die Bildung Neutronen absorbierender Spaltprodukte einen beträchtlichen Verlust an Reaktivität verursacht. Auf Grund dieser letzteren wichtigen Daten war es möglich, zu einer realistischen Schätzung des in einem Element verbrennbaren Urananteils und daher auch der Treibstoffkosten zu gelangen.

Im September 1950 fand in Harwell eine Konferenz statt, die im Lichte der jetzt zutage tretenden verläßlicheren Aufschlüsse die Möglichkeiten der Krafterzeugung durch Reaktoren, die mit natürlichem Uran betrieben werden, überprüfen sollte. In einem der dabei gehaltenen Vorträge gab ein Ingenieur aus Harwell eine neue Schätzung der Kosten der Krafterzeugung mit einem gasgekühlten Reaktor. Die Ziffer von nicht ganz fünf Pfennig pro Kilowattstunde war beträchtlich niedriger, als man früher angenommen hatte, und obwohl sie lebhaft umstritten wurde, ließ man sie doch als einigermaßen überzeugend gelten. In dem gleichen Vortrag wurde eine weitere wichtige, wenn auch nicht neue Idee mit Nachdruck vertreten, nämlich daß ein Reaktor des geschilderten Typs während der Krafterzeugung auch Plutonium herstellen würde, das sich dann

später in Reaktoren von fortschrittlicherer Bauart als Treibstoff benutzen ließe und so zu einer besseren Gesamtausnutzung des Urans beitragen würde — was im laufenden britischen Zehnjahresplan für Kernkraft von entscheidender Wichtigkeit ist. Die Sorge, daß die überwiegende Mehrzahl der Uranatome verbrannt werden könnte, lag in der Tat den meisten der Einwände zugrunde, die gegen die Empfehlung von Natururan-Reaktoren vorgebracht wurden. Bei diesen ließ sich wahrscheinlich nicht einmal ein Prozent des Urans verbrennen, während schnelle Reaktoren imstande sind, einen populär als ‹Brut› bezeichneten Prozeß hervorzurufen, nämlich durch neutroninduzierte Kernumwandlungen mehr von einem sekundären Treibstoff (wie etwa Plutonium) herzustellen, als sie an primärem Treibstoff (wie etwa Uran) verbrauchen, so daß sie einen viel höheren Bruchteil des Urans nutzbar machen.

Trotz der Bedenken der Anhänger schneller Reaktoren stimmte die Konferenz im allgemeinen darin überein, daß die Krafterzeugung durch Verbrennung von natürlichem Uran wohl nicht kostspieliger sei als die durch Verbrennung von Kohle; zum mindesten waren die Aussichten günstig genug, um die sofortige Inangriffnahme technischer Studien und Experimente zu rechtfertigen. Man dachte dabei an den Bau eines Kraftwerks, in dem Betriebserfahrungen gewonnen und die Kosten realistisch abgeschätzt werden konnten. Daher wurde in Harwell ein Team gebildet, dem die Aufgabe zufiel, nachzuprüfen, ob die vorgebrachten Anregungen sich in praktisch durchführbare Pläne umwandeln ließen. Die Arbeit dieser Gruppe, die im Jahre 1951 begann und direkt zum Bau von Calder Hall führte, soll im nächsten Kapitel beschrieben werden.

2. Der Entwurf wird gewählt: ‹PIPPA›

Eine kleine Gruppe von Ingenieuren in Harwell wurde also damit beauftragt, unter Mitarbeit von Spezialisten in den Abteilungen für Chemie, Metallurgie und Physik die Möglichkeit eines Atomkraftwerkes zu prüfen, das gleichzeitig elektrische Kraft erzeugen und Plutonium aus natürlichem Uran-Treibstoff herstellen konnte. Natürliches Uran war tatsächlich der einzige feste Bezugspunkt bei ihren Erörterungen; alles andere mußte noch entschieden werden.

Die Gruppe beschloß, zunächst das schwerste Problem in Angriff zu nehmen, nämlich den Entwurf des Reaktors selbst. Erst wenn dieser praktisch vorstellbar war, war es an der Zeit, sich mit dem Gedanken eines dampferzeugenden Kraftwerkes zu beschäftigen. Nach dem Fixpunkt, dem natürlichen Uran, war ein thermischer Reaktor eine Notwendigkeit. Deshalb mußte weiter auch eine sorgfältige und genaue Bestandsaufnahme aller möglichen Moderatoren und Kühlmittel in Gas- und flüssiger Form erfolgen.

Die möglichen Moderatoren waren Beryllium (oder Beryllerde), schweres Wasser und Graphit. Beryllium ist ein Leichtmetall, das Neutronen nur in geringem Grade absorbiert; Beryllerde ist sein Oxyd. Der Nachteil dieser Materialien bestand darin, daß voraussichtlich keines der beiden in absehbarer Zeit in größeren Mengen erhältlich war. Schweres Wasser ist Wasser, in dem der Wasserstoff (das H der bekannten Formel H_2O) durch Deuterium, das Wasserstoffisotop der Masse 2, ersetzt ist; es kann von gewöhnlichem Wasser, worin es im Verhältnis 1 : 6000 enthalten ist, gesondert werden, was aber kostspielig ist. Deshalb wurde ein solches Sonderungs-Verfahren bisher in Großbritannien in größerem Maßstab auch noch nicht durchgeführt. Graphit andererseits war in erheblichen Mengen vorhanden, seine Nutzanwendung bekannt, und es war ein verhältnismäßig wirksamer Moderator. Der Haupteinwand gegen Graphit liegt darin, daß es den Bau eines größeren Reaktors erforderlich macht, weil es von den erwähnten drei Stoffen zur Verlangsamung von Neutronen der am wenigsten wirksame ist. Die Größe des Reaktors hängt im wesentlichen von der Reinheit des Graphits ab. Verunreinigungen absorbieren Neutronen, und ein Reaktor kann überhaupt nicht arbeiten, wenn nicht ein gewisses Mindestmaß an Reinheit erreicht wird. Wird umgekehrt die Reinheit über dieses Minimum hinaus erhöht, kann auch die Größe des Reaktors sehr rasch herabgesetzt werden. Es wurden also Verbesserungen in den Herstellungsmethoden erwogen, von denen man sich ein Zustandekommen von erheblich reinerem Graphit erhoffte. Darum beschloß man endlich, in dem neuen Reaktor Graphit zu verwenden.

Die Wahl des Kühlmittels war gleichfalls im wesentlichen durch die Frage der Neutronenwirtschaftlichkeit bestimmt. Flüssigkeiten sind im allgemeinen wirksamer als Gase, wenn es sich darum handelt, einem heißen Körper Wärme zu entziehen, und mehrere kamen als Kühlmittel für den Reaktor in Betracht; aber sie haben alle bedenkliche Nachteile. Zunächst einmal üben sie gewisse Nebenwirkungen auf Graphit aus. Dieses hätte also dadurch geschützt werden müssen, daß die Kühlkanäle, anders als in BEPO, mit Metallröhren ausgelegt wurden. Allerdings mußte das zusätzliche Metall mehr Neutronen absorbieren, als zulässig war, wie auch Flüssigkeiten als solche Neutronen absorbieren. Ganz abgesehen von diesen Verlusten, mußte aber auch die Gefahr bestehen, daß mehr Neutronen vom Kühlmittel absorbiert wurden als vom Moderator. Nehmen wir einmal an, ein mit Graphit gebremster Reaktor werde mit gewöhnlichem Wasser gekühlt, welches in hohem Grade Neutronen absorbiert. Wurde in solchem Falle der Fluß des Wassers einmal unterbrochen, etwa durch einen Fehler in den Pumpen, dann mußte das Wasser ins Kochen geraten und aus dem Kern herausgeblasen werden; und der Verlust dieses Neutronen absorbierenden Materials mußte eine rapide Vermehrung der Neutronen und infolgedessen einen rapiden Anstieg der Energie des Reaktors herbeiführen,

was wiederum Überhitzung und weitere Schäden zur Folge haben mochte.

Gase andererseits absorbieren im allgemeinen Neutronen in sehr viel geringerem Grade als Flüssigkeiten, weil sie in jeder Volumeneinheit ungleich weniger Atome enthalten. Daher brauchte der — wodurch immer bedingte — Verlust eines gasförmigen Kühlmittels nicht zu einem erheblichen Anstieg in der Neutronendichte zu führen, so daß also kein Schaden am Reaktor zu befürchten war. Obendrein wirken mehrere der möglichen Gase nicht weiter merklich auf Graphit ein, und wenn eines von diesen verwendet wurde, brauchte der Moderator nicht durch Metallröhren geschützt zu werden. Das Gas konnte dann dadurch auf dem hohen, zur wirksamen Wärmeübertragung erforderlichen Druck gehalten werden, daß man den ganzen Kern mit einem großen Stahlbehälter umschloß und das Gas am einen Ende hinein-, am anderen wieder herauspumpte; wodurch auch die Einführung von Neutronen absorbierenden Stoffen in den Kern überflüssig wurde. In Anbetracht all dieser Umstände wurde deshalb beschlossen, Gas als Kühlmittel zu benutzen.

So wurden also bereits im Frühstadium der Untersuchung drei grundlegende Parameter des Reaktors festgelegt, nämlich natürlicher Uran-Treibstoff, Graphit als Moderator und Kühlung durch Gas unter Druck. Interessanterweise zeigte sich, daß die *ab initio* erneuerte Prüfung der mit Natururan betriebenen Reaktoren zu den gleichen Ergebnissen führte wie frühere Untersuchungen, teilweise weil die wirtschaftlichen Faktoren sich nicht geändert hatten — es war ökonomischer, Graphit zu beschaffen als Beryllium oder schweres Wasser —, und teilweise, weil der Gebrauch von angereichertem Treibstoff sich von selbst verbot. Nachdem diese Grundentscheidungen gefallen waren, begann die Arbeit im einzelnen. Die erste Frage war die, welches Gas als Kühlmittel verwendet werden sollte.

Die Wahl des Gases

Die Haupterfordernisse an das zu benutzende Gas bestanden darin, daß es wirksam Wärme übertrug, daß es möglichst wenig Neutronen abfing, daß es weder infolge der zu erwartenden ziemlich hohen Betriebstemperaturen noch nach dem Bombardement mit Neutronen oder anderen Strahlungen chemisch aufbrach, und schließlich — ein besonders wesentlicher Punkt —, daß es weder auf das Graphit noch auf die Metalle im Kern (einschließlich des Urans, der das Uran umhüllenden Legierung und des Stahls in dem Druckbehälter) chemisch einwirkte. Weitere Erwägungen betrafen die Kosten und die Beschaffung des Gases und die erforderliche Pumpenstärke, die freilich hauptsächlich vom Grad des Druckes abhängt, dem das Gas bei seinem Gebrauch ausgesetzt ist.

Bis zu diesem Zeitpunkt wußte man noch kaum, wie die möglichen Gase bei mäßigen Temperaturen, namentlich bei Auftreten von Strahlungen sich verhalten. Die wenigen der ganzen Untersuchung

vorausgehenden Experimente hatten sich hauptsächlich auf das Verhalten der Luft bezogen, wie sie in den Meilern in Windscale verwendet wird, und hatten durch Messung festzustellen, wie und in welcher Stärke der Sauerstoff der Luft auf Graphit einwirkt. Diese Experimente waren in dem Reaktor in Chalk River ausgeführt worden unter Bedingungen, die denen beim Meiler in Windscale vorwaltenden ähnelten. Es waren auch einige Versuche über die Wechselwirkung zwischen Graphit und Kohlensäure angestellt worden, aber zumeist in Abwesenheit von Strahlungen.

Das Untersuchungsgremium begann daher seine Beratungen über verschiedene Gase, ohne sich auf allzu reiches Versuchsmaterial stützen zu können. Man steckte sich weite Grenzen. Mehr als ein Dutzend Gase wurden in Betracht gezogen, angefangen von Wasserstoff und Helium, den allerleichtesten, über Stickstoff zu Methan, Ammoniak und Schwefeldioxyd. Der Gedanke an einige von ihnen wurde sofort wieder verworfen, weil nach den veröffentlichten Daten zu erwarten stand, daß Strahlung ihre komplexen Moleküle aufbrechen würde. Es blieben jedenfalls zuletzt nur vier Gase übrig. Das geeignetste von diesen war Helium, das ein wirksames Mittel zur Wärmeübertragung und obendrein chemisch träge ist, so daß es nicht auf Graphit oder Metalle einwirkt. Andererseits ist Helium teuer und in Großbritannien nicht in größeren Mengen vorhanden. Eine zweite Möglichkeit war Wasserstoff. Dieser ist reichlich vorhanden und ein ausgezeichnetes Wärmeübertragungs-Mittel, aber er hat den Nachteil, mit Luft eine explosive Mischung zu bilden und außerdem auf Uran einzuwirken. Die nächste Möglichkeit war Stickstoff, wiederum ein reichlich vorhandenes Gas, das einige gute Eigenschaften, aber auch die Schattenseite hat, daß es Neutronen in verhältnismäßig hohem Grade absorbiert und wahrscheinlich bei Strahlungen auf Graphit einwirkt. Blieb zuletzt noch die Kohlensäure. Dieses Gas wird in großen Mengen hergestellt und ist billig, es ist zur Wärmeübertragung noch geeigneter als Helium und, weil dichter, auch leichter zu pumpen, und es absorbiert Neutronen nicht im Übermaß. Sein Hauptnachteil, soweit er zu Beginn der Untersuchung bekannt war, bestand darin, daß es mit Graphit (d. h. Kohlenstoff) Kohlenmonoxyd bildet, was wiederum beim Moderator zu einem Verlust an Graphit führen mochte.

Kohlensäure erschien also auf den ersten Blick als das verheißungsvollste der Gase, aber zwei weitere Fragen ließen sich erst durch Versuche beantworten: erstens nämlich, ob das Gas bei erhöhter Temperatur aufbrechen würde, vor allem im Falle von Strahlungen; und zweitens, wie weit die Einwirkung auf den Kohlenstoff beim Moderator einen Verlust von Graphit zur Folge haben würde. Diese Fragen wurden der chemischen Abteilung in Harwell vorgelegt.

Die erste Frage ließ sich ziemlich rasch beantworten. Nach den veröffentlichten Daten war es klar, daß Kohlensäure noch bei einer sehr viel höheren Temperatur, als sie im Reaktor vorgesehen war, stabil bleiben würde, und frühere Laboratoriums-Versuche ließen darauf

schließen, daß die Wirkung von Strahlungen nicht sehr erheblich war. Dies wurde im Falle hochgradiger Strahlung auch dadurch bestätigt, daß dieser in BEPO Proben von ganz reinem Gas in Quarzgefäßen versiegelt ausgesetzt wurden.

Mit der Einwirkung auf den Graphit dagegen verhielt es sich komplizierter. Sie besteht in der Verbindung von einem Molekül Kohlensäure und einem Atom Kohlenstoff, wobei zwei Moleküle von Kohlenmonoxyd, einem andern Gas, gebildet werden. Es kann aber auch zur umgekehrten Reaktion kommen und das Kohlenmonoxyd in Kohlenstoff und Kohlensäure zerfallen. Aus bisherigen Veröffentlichungen wußte man, daß beim Ausbleiben von Strahlungen die Reaktion schließlich ein Gleichgewicht zur Folge haben würde, das heißt, die Verbindung von Kohlenstoff und Kohlensäure zu Kohlenmonoxyd hielt dem Zerfall des Kohlenmonoxyds in die beiden anderen Produkte ungefähr die Waage. Bei Temperaturen unterhalb von 450 ° C stellt sich dieses Gleichgewicht schon bei ganz geringer Konzentration von Kohlenmonoxyd her, und die Stärke der Reaktion ist so gering, daß sie nicht ins Gewicht fällt. Bei Temperaturanstieg erhöht sich freilich auch die Stärke der vorwärts gerichteten Reaktion, bis sie bei etwa 600° C einem Jahresverlust von ungefähr 1 Prozent des Gesamtgewichts von Graphit entspricht. In einem Reaktor mußte der so bedingte Verlust an Graphit zweierlei Folgen haben. Die erste und augenfälligste bestand darin, daß ein übermäßiger Verlust die Graphitstruktur gefährden oder wenigstens ihre Nützlichkeit begrenzen mochte. Außerdem war zu befürchten, daß das Graphit von einem Teil des Kerns, bei dem die Temperatur hoch war, zu kühleren Teilen des Kerns oder einer kühleren Fläche des Wärmeaustauschers, in dem das Gas umlief, abgedrängt würde.

Die große Unbekannte war die Einwirkung von Strahlung auf diese Reaktion, und diese mußte durch Experimente bei BEPO ermittelt werden, bei denen Kohlensäure über eine Probe Graphit geleitet wurde. Die Stärke der Wirkung ließ sich dann am Gewichtsverlust des Graphits ermessen. Man berechnete jedoch, daß im Falle BEPO eine tägliche Gewichtsveränderung von etwa 14 Millionstel Gramm Kohlenstoff einkalkuliert werden müßte. Nun ist es aber nicht leicht, Kohlenstoff genau zu wiegen, und die Versuche hätten sich über Monate hinziehen müssen, um erhebliche Gewichtsveränderungen anzuzeigen. Andernfalls hätte man auch die Geschwindigkeit der Kohlenmonoxyd-Bildung messen können, was sich mit Hilfe einer viel empfindlicheren Methode, der sogenannten Gasanalyse bewerkstelligen ließ. Indessen war auch dieser Faktor immer noch eine sehr kleine Größe, und die Methode mußte irreführende Ergebnisse zeitigen, falls sich Kohlenmonoxyd zufällig aus anderen Quellen einschlich. Daher mußten Verunreinigungen, die direkt oder indirekt zu einer Bildung von Kohlenmonoxyd hätten führen können, dem Apparat streng ferngehalten werden. Das Ganze mußte also gänzlich aus Glas hergestellt und Schmierfett nirgends zugelassen werden.

Um das Experiment durchzuführen, wurde eine Probe von Graphit, von einem elektrischen Heizkörper umschlossen, in ein Quarz-Gefäß gestellt, das durch Quarzröhren mit dem zum Umlauf der Kohlensäure bestimmten Apparat verbunden war und dem Gasproben für die Analyse entnommen werden konnten. Das Glasgefäß wurde durch eine Öffnung in BEPO eingelassen, während das umlaufende Gas und die Probe-Apparatur außerhalb des Meilers, etwa sechs Meter darüber, verblieben. Um eine Befleckung durch Fett und Öl zu vermeiden, wurde die Pumpe zum Umlauf des Gases ganz aus Glas verfertigt, und es war auch keiner der geschmierten Hähne, wie sie bei Glasapparaturen sonst üblich sind, zugelassen.

Das ganze Experiment ist etwas eingehender beschrieben worden, weil es ein typisches Beispiel sowohl für die Art der Forschung darstellt, auf der wichtige Entscheidungen in der Technik beruhen, als auch für die Komplikationen, die bei einer anscheinend ganz einfachen Messung auftreten können. Im einzelnen ergaben die Versuche, daß durch die Meilerstrahlung die Stärke der Wechselwirkung zwischen Kohlensäure und Graphit der Strahlungsintensität proportional erhöht wird, gleichwohl aber ihre zulässige Grenze nicht übersteigt. Es wurde daher beschlossen, den Entwurf unter der Annahme, daß Kohlensäure benutzt werden würde, voranzutreiben. Gleichzeitig aber war man der Meinung, daß weitere Versuche in industriellem Maßstab unternommen werden sollten — sie sollen im 5. Kapitel beschrieben werden.

Das Treibstoffelement

Der nächste größere Fortschritt erfolgte in Zusammenhang mit dem Urantreibstoff. Man kann einen Kernreaktor nicht mit Klumpen von Uran in allen möglichen Größen und Formen beheizen, wie man etwa rohe Haufen von Kohle in einen gewöhnlichen Ofen schaufelt. Das Uran muß genau nach Größe hergestellt, in eine schützende Metallhaut oder -hülse eingeschlossen und im Graphit in Form eines sorgfältig berechneten Gitterwerks angeordnet werden.

Der Uranstab in seiner Hülse, das sogenannte Treibstoffelement, ist die entscheidende Komponente in einem Kernreaktor und ist mit am schwersten zu entwerfen. Man bedenke einmal die Anforderungen. Um die im Uran erzeugte Wärme durch die Metallhülse an das Kühlgas abzuleiten, muß die Hülse mit dem Uran auf der Innenseite guten thermischen Kontakt haben und die Wärme dem Gas an der Außenseite wirksam übermitteln. Gleichzeitig darf sie weder durch das Gas noch durch das Uran angegriffen werden, und, wie alles innerhalb eines Reaktorkerns, muß sie möglichst wenig Neutronen absorbieren. Schließlich muß sie bei der hohen Betriebstemperatur mechanisch stark genug sein, da sonst das Gewicht des Urans im Innern Risse verursachen und die Hülse für ihren Zweck untauglich machen könnte. Weiter muß der Uranstab in der Hülse trotz der Temperaturwechsel und trotz der Bombardements mit Neutronen und ande-

ren Strahlungen, denen er während des Betriebs ausgesetzt ist, unbedingt seine Form und Größe behalten — ein Erfordernis, dem wegen der eigentümlichen Eigenschaften des Metalls nur schwer zu genügen ist. Während es nämlich auf seinen Schmelzpunkt zu erhitzt wird, nimmt seine Struktur (d. h. die Anordnung der Atome in dem Stoff) nicht weniger als drei verschiedene Formen an, und bei jeder der Strukturen sind die Eigenschaften des Metalls — seine Stärke, Ausdehnung, Wärmeleitfähigkeit usw. — verschieden. Noch größere Schwierigkeiten ergeben sich aus der Wirkung der Bestrahlung mit Neutronen und der Spannungen, die infolge der Spaltung durch intensive örtliche Erhitzung hervorgerufen werden. Wenn ein Uranatom durch Spaltung geteilt wird, rasen die beiden neugebildeten Atome mit gewaltiger Energie durch das Metall und stören dabei die regelmäßige Anordnung der Atome; und selbst wenn sie ihre Energie verlieren und sich an einem ‹freien Platz› festsetzen, üben sie immer noch ihren Einfluß auf das Metall aus, weil zwei ihrer Natur nach von dem ursprünglichen Uran verschiedene Atome untergebracht werden müssen, wo vorher nur ein Atom existierte. Obendrein sind einige der Spaltprodukte Atome von Gasen, z. B. Xenon und Krypton, die sich möglicherweise in dem kompakten Metall an leeren Stellen ansammeln und es beträchtlich verzerren.

Wer eine Spaltpatrone entwerfen will, sieht sich also zwei Hauptproblemen gegenüber, nämlich einmal ein Hülsenmetall zu finden, das den eben erwähnten Kriterien standhält, zum andern aber Bearbeitungsweisen für Uran zu ersinnen, die die Wirkungen der Strahlung auf ein Minimum reduzieren.

In allen britischen Reaktoren, die im Jahre 1951 existierten, war Aluminium als Hülsenmaterial verwendet worden. Dieses Metall entspricht allen Anforderungen, abgesehen davon, daß es bei hohen Temperaturen mechanisch schwach ist. Aus diesem Grunde wurden andere Metalle für den Kraftreaktor in Betracht gezogen. Von dem halben Dutzend, die eine verhältnismäßig geringe Neutronabsorption aufweisen, sind das zunächst ziemlich wenig bekannte Beryllium und Zirkon am besten für den Betrieb bei hohen Temperaturen geeignet. Aber beide waren im Jahre 1951 nur in kleinen Mengen vorrätig und kamen daher nicht in Frage. Dafür bestand derzeit ein wachsendes Interesse an dem gewöhnlichen Metall Magnesium. Neuerliche Messungen hatten erwiesen, daß frühere, seine Absorption von Neutronen betreffende Angaben stark übertrieben waren — sie beträgt in der Tat nur ungefähr ein Fünftel der des Aluminiums. Das Metall war in großen Mengen und in Graden von hoher Reinheit vorhanden. Andererseits waren seine mechanischen Eigenschaften, soweit bekannt war, denen des Aluminiums nicht überlegen, und man war wegen der Feuersgefahr besorgt, weil Magnesium sich leicht an der Luft entzündet, wie jeder weiß, der bei einer Blitzlichtaufnahme zugesehen hat.

Die Metallurgen in Harwell meinten indessen, daß die Magnesium betreffenden Angaben unbestimmt genug waren, um neue experimentelle Untersuchungen zu rechtfertigen. Es waren sogar im Jahre

1948 einige erste Versuche mit ermutigenden Ergebnissen über die Wirkungen von Temperatur und Strahlung angestellt worden, aber der Maßstab der Arbeiten war zu beschränkt, als daß man zuversichtlich hätte sagen können, daß Magnesium sich in einem Reaktor verwenden ließ, der bei viel höherer Temperatur und mit stärkerem Neutronenfluß als BEPO betrieben wurde. Man machte sich nun daran, die mechanische Stärke von Magnesium bei erhöhten Temperaturen zu untersuchen, und bald zeigte sich, daß Magnesium bei den vorgeschlagenen Betriebstemperaturen dem Aluminium eher überals unterlegen war. Gleichzeitig wurden einige vorläufige Versuche über die Korrosion von Magnesium durch heiße Luft und durch Kohlensäure auf breiterer Grundlage durchgeführt. Proben des Metalls wurden derart an dem Arm einer chemischen Waage aufgehängt, daß sie innerhalb eines Gefäßes hingen, durch das das Gas passierte; das Metall konnte durch einen kleinen elektrischen Heizkörper erwärmt werden. Die von der Waage angezeigte Gewichtszunahme bildete jeweils den Maßstab für den Grad der Korrosion. Die Versuche wurden mit ganz reinem Magnesium und mit einigen gewöhnlichen Legierungen des Metalls unternommen.

Die Resultate deuteten darauf hin, daß Magnesium sich der Korrosion wirksam widersetzen würde, aber offenbar gab es noch günstigere Möglichkeiten. Als die Messungen im Lichte einer kürzlich aufgestellten Theorie der Korrosion beurteilt wurden, kam man zu dem Schluß, daß berylliumhaltige Magnesium-Legierungen wahrscheinlich noch widerstandsfähiger waren als alle bisher erprobten Stoffe. So wurde denn unter Mitarbeit einer Industriefirma eine Reihe von Legierungen, die Beryllium und gewisse andere Elemente enthielten, zusammengestellt und Proben einer jeden von der Firma erzeugt. Diese Legierungen wurden in Harwell untersucht. Zwei von ihnen erwiesen sich als besonders widerstandsfähig gegen Korrosion selbst durch feuchte warme Luft, die viel zerstörender wirkt als Kohlensäure. Versuche, herauszufinden, ob die Legierungen bei hohen Temperaturen an der Luft sich entzünden würden, ergaben, wie schon frühere Versuche mit reinem Magnesium in Kohlensäure, daß sich eine Schutzschicht um das geschmolzene Metall bildet und die Verbrennung verhindert. Weitere Experimente bestätigten, daß die Legierungen in Kohlensäure sich ebenso friedlich verhielten.

Wie wir im 5. Kapitel zeigen werden, machten die Erfordernisse der Massenproduktion weitere Entwicklungen und einige Änderungen der stofflichen Zusammensetzung nötig; aber diese bedeutsamen Experimente legten im wesentlichen die später in dem Reaktor von Calder Hall verwendete Legierung fest. Sie ermöglichten einen erheblichen Fortschritt in dem Entwurf des Reaktors, weil die geringe Neutronenabsorption der Legierung die Verwendung einer starken Hülse mit guten Wärmeübertragungsrippen ohne Verlust an Reaktivität gestattete.

Die Wichtigkeit des letzten Punktes wird auch durch die folgenden Betrachtungen erhärtet. Die von einem Reaktor entwickelte Energie hängt von der Wärmerate des Urans ab, d. h. von der Wärmemenge, die jeder Tonne des Metalls entzogen werden kann. In einem gasgekühlten Reaktor ist diese Rate ziemlich niedrig. Sie wird durch die Wirksamkeit bestimmt, mit der die Wärme von der Oberfläche der Treibstoffelemente auf den Gasstrom übertragen wird. Die Wärmeübertragung kann dadurch erhöht werden, daß die Geschwindigkeit des Gasumlaufs in den Kühlkanälen erhöht wird, aber dann wird mehr Energie zur Bedienung des Gasgebläses gebraucht, und diese Energie muß von dem im Werk erzeugten Gesamtbetrag abgezogen werden; die Nettoleistung mag daher sogar geringer sein. Die Wärmeübertragung kann auch durch Erweiterung der Oberfläche der Hülsen erhöht werden, indem man diese mit Rippen versieht, aber auf Kosten der Neutronenabsorption in den Rippen; die geringe Neutronenabsorption des Magnesiums gestattete die Verwendung einer größeren Rippenfläche, als es bei Aluminium der Fall gewesen wäre.

Über den Einfluß von Größe und Gestalt der Rippen auf die Wärmeübertragung war noch nicht viel bekannt. Die ersten Experimente mit gerippten Hülsen war in Harwell im Zusammenhang mit den Meilern in Windscale angestellt worden. Ursprünglich waren die Rippen longitudinal, d. h. sie liefen der Länge nach an der Hülse entlang wie die Rückenflosse eines Fisches, aber sie erwiesen sich als weniger zweckmäßig, als man erwartet hatte. Jemand schlug dann vor, die Rippen um die Hülse herumzulegen, wie die Kühlrippen um den Zylinder eines Motorrades. Aber bei einem Motorrad bläst die Luft quer über den Zylinder und daher zwischen den Rippen hindurch, während bei einem Reaktor die Luft der Länge nach an der Hülse entlang geblasen wird, und daher quer zu den Rippen, eine Anordnung, die auf den ersten Blick unzweckmäßig erscheint. Sie wurde trotzdem ausprobiert und bewährte sich. Weitere Experimente wurden dann unternommen, um bei Veränderung von Druck, Geschwindigkeit und Art des Gases, der Temperatur, der Größe und des Abstandes der Rippen usw. Unterschiede in der Leistung festzustellen. Die Ergebnisse wurden in Kurven zusammengefaßt, aus denen die Konstrukteure unter gegebenen Bedingungen die optimalen Rippen ausarbeiten konnten. Experimente in dieser Richtung dauern, wie wir im 5. Kapitel sehen werden, noch an.

Diese drei Untersuchungen — über die chemische Verträglichkeit von Kohlensäure, die korrosionswiderstandsfähigen Magnesium-Legierungen und die Eigenschaften gerippter Hülsen — waren für den Erfolg des Unternehmens entscheidend und sind typisch für die Art der Arbeiten, die den wesentlichen Teil einer Möglichkeitsprüfung bilden. Jetzt müssen wir aber auf die Hauptentwicklungslinie zurückkommen, nämlich den vollständigen Reaktor und das mit ihm verbundene Kraftwerk.

Beim Entwurf eines Industriewerkes hat man sich mit zwei äußerst verschiedenen Gruppen grundsätzlicher technischer Probleme zu befassen. Die erste Gruppe betrifft die bestmöglichen Bedingungen für das Werk; dies ist ein im wesentlichen theoretischer Vorgang, den die Techniker als ‹optimale Planung› bezeichnen, und der darin besteht, im Lichte der Erfahrung eine Reihe von Bedingungen auszuwählen, unter denen der Betrieb vor sich gehen, und dann die Leistung zu berechnen, die unter diesen Bedingungen erzielt werden kann. Da das Licht der Erfahrung auf einem so neuartigen Gebiet wie dem der Kerntechnik mitunter nur ziemlich schwach leuchtet, handelt es sich in den Frühstadien des Entwerfens oft eher um ein Erraten als um ein exaktes Abschätzen von Bedingungen; dies ist in der Tat die Phase, in der das intuitive Verfahren wichtiger ist als das analytische und in der die Wissenschaft hinter der Kunst zurücksteht. Die zweite und im wesentlichen praktische Problemgruppe hat es gleichsam mit ‹Klempnerei› zu tun, sofern es zum Beispiel gilt, Wege zu finden, einen Druckbehälter von erforderlicher Größe herzustellen, ein Kontrollsystem auszuarbeiten, oder Wärmeaustauscher möglichst zweckmäßig zu gestalten. In dieser Phase kann man sich gewöhnlich auf einen höheren Grad von Erfahrung stützen, aber auch hier ist das Ahnungsvermögen von Wichtigkeit.

Bei den Optimal-Berechnungen wurde das Kernkraftwerk in zwei Abteilungen gegliedert, den Reaktor (die wärmeproduzierende Abteilung) und den Dampfkessel oder Wärmeaustauscher (die wärmeverbrauchende Abteilung). Bei den Berechnungen des Reaktors wird die Gesamtgröße des Kerns und die Menge des Treibstoffs festgelegt, die bei verschiedenen Größen der Spaltpatronen und verschiedenen Abständen zwischen den die Patronen enthaltenden Kanälen erforderlich wären. Hierbei müssen Werte für die neutronenabsorbierenden Eigenschaften des Treibstoffes, der Hülse, des Moderators und des Kühlmittels angesetzt werden, und da diese nicht immer genau bekannt sind, enthalten die Angaben oft beträchtliche Ungewißheiten. Danach wird die Wärmeübertragung vom Treibstoffelement zum Kühlgas in dem innersten Kanal des Kerns (der auch der heißeste ist) berechnet, und zwar für verschiedene Pumpkräfte und ähnliches. Diese Ergebnisse werden in Verbindung mit den den Atomkern betreffenden Ergebnissen dazu benützt, um den Meilerkern als Ganzes zu untersuchen, an verschiedenen Stellen des Kerns die Neutronendichte zu berechnen und damit das nötige Gewicht des Urans ausfindig zu machen. Auch der Wärmefluß in den äußeren Kanälen muß bestimmt werden. Auf der wärmeverbrauchenden Seite erfordert der beste Entwurf des Kessels die Wahl von Gastemperaturen und -strömen, Flächenraum der Kessel, Gaspumpkraft und Dampfdruck, um die besten Dampfbedingungen zu erzielen, die mit einer langen Lebensdauer des Werks und niedrigen Kapitalkosten verträglich sind. Die Ergebnisse all

dieser Berechnungen werden dann analysiert, um zu entscheiden, welche Zusammenstellung von Bedingungen das Höchstmaß an elektrischer Energie (als verschieden vom Höchstmaß an Gesamtwärme) und die höchste Umwandlungsrate von Uran 238 in Plutonium ergeben wird. Für einen Reaktor, der die Aufgabe hat, sowohl Kraft als auch Plutonium zu erzeugen, ist der optimale Plan derjenige, welcher die billigste Elektrizität in Verbindung mit der größten Menge Plutonium verheißt.

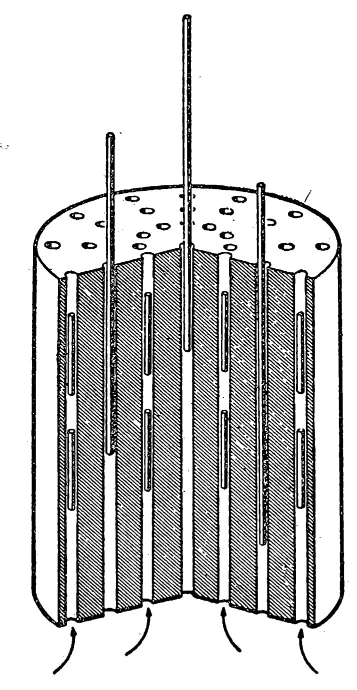


Abb. 3: Schema der vertikalen Kernanordnung

Aus Berechnungen dieser Art wurden gewisse Zahlenangaben gewonnen, die im Grunde genommen auf Rohskizzen von verschiedenen Reaktoren hinausliefen, und von denen die meistversprechenden dann eingehender geprüft wurden. Wenn diese Berechnungen einen Mangel an Kenntnis hinsichtlich der Stoffe oder Komponenten an den Tag brachten, dann mußten experimentelle Arbeiten unternommen werden, wie die im Falle der Verträglichkeit der Kohlensäure schon beschriebenen.

Während die Optimal-Berechnungen auf das Endziel abgestellt waren, erwies die Prüfung der technischen Probleme, wieweit diese Berechnungen sich maschinell verwirklichen ließen. Die Schlüsse

aus den ersten Berechnungen und die Erwägungen über die ‹Klempnerei› ergaben eine Entwurfskizze, die in einem Bericht vom September 1951 beschrieben wurde. Hierin wurde angeregt, den zylindrischen Graphitkern vertikal in einem druckwiderstandsfähigen Stahlbehälter anzubringen, so daß die Treibstoffkanäle vertikal verliefen (siehe Abbildung 3). Dieser Vorschlag stellte insofern eine wichtige Neuerung dar, als bis dahin alle britischen Reaktoren horizontale Kanäle gehabt hatten, und er wurde nicht ohne schwere Bedenken gemacht. Das Kühlgas sollte in den Boden des Druckgefäßes

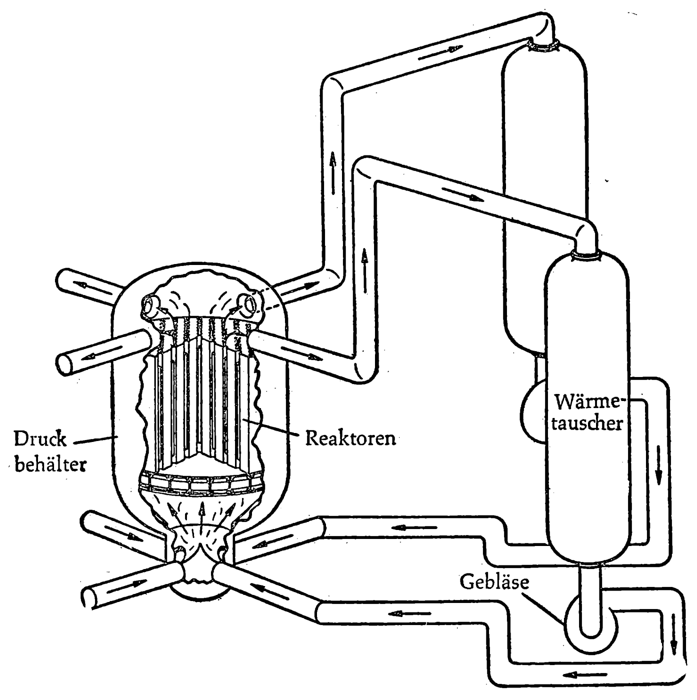


Abb. 4: Gaskreislauf im Reaktor

gepumpt werden und dann durch die Kanäle aufwärts steigen und durch vier große Abzugsröhren am oberen Ende austreten, die es zu vier getrennten, um den Reaktor herum angeordneten Wärmeaustauschern ableiten sollten. Das heiße Gas sollte dann diese Wärmeaustauscher passieren, unterwegs Wasser zum Kochen bringen und durch elektrisch betriebene Gebläse in den Boden des Druckbehälters zurückgepumpt werden. Es ist interessant zu bemerken, daß dies die wesentlichen Züge des Werkes sind, wie es dann später in Calder Hall tatsächlich gebaut wurde (siehe Abbildung 4).

Zu dieser Zeit waren weder das kühlende Gas noch das Hülsenmaterial festgelegt, und die praktische Durchführbarkeit von vielen der Vorschläge war noch nicht bewiesen worden. Gegen Ende 1951 waren jedoch die meisten das Magnesium betreffenden Ungewißheiten behoben, und es war zu erwarten, daß auch Graphit von beträchtlich verbesserter Qualität zur Verfügung stand. Eine Zeitlang nahm man an, daß dadurch der Bau eines besonders kompakten Reaktors möglich würde; und unter dieser Voraussetzung wurde angeregt, ein kleines Kernkraftwerk in Harwell zu errichten, um Elektrizität und Heizwärme für das große Unternehmen zu erzeugen. Dieses Werk wurde auf den Namen PIPPA getauft (eine Gedächtnishilfe für die Worte *‹pressurised pile for producing power and plutonium›* — Druckmeiler zur Erzeugung von Kraft und Plutonium). Später, im Juni 1952, stellte sich heraus, daß das kleine Werk unzweckmäßig war, und die Aufmerksamkeit wandte sich wieder einem großen Werk zu, das ungefähr 150 000 Kilowatt Wärme erzeugen und als Elektrizitätszentrale dienen konnte. Der Name PIPPA aber blieb an dem großen Projekt haften.

Während der ersten Monate des Jahres 1952 wurde der Bereich der Vorarbeiten dadurch erweitert, daß Industrieingenieure zugezogen wurden. Schon über ein Jahr davor hatte die *Central Electricity Authority* (damals noch *British Electricity Authority*, die oberste staatliche Elektrizitätsbehörde) ihr Interesse an der Entwicklung von Kernkrafterzeugung bekundet, aber erst Anfang 1952 waren die einschlägigen Ideen konkret genug, um die aktive Teilnahme von CEA-Ingenieuren zu rechtfertigen. Im April versetzte dann die Behörde Ingenieure nach Harwell, die an dem Projekt mitarbeiten sollten, hauptsächlich an der wärmeverbrauchenden Seite des Werks und im besonderen an der elektrischen Apparatur. Ungefähr um dieselbe Zeit wurden auch Ingenieure von *C. A. Parsons Ltd.* der Forschungsstätte zugewiesen, um in erster Linie bei der Herstellung des Gaskreislaufes, im besonderen der Gebläse mitzuwirken; später entwarf diese Firma auch die Turbinen. Ebenso wurde das Ministerium für Öffentliche Arbeiten in Fragen der Architektur, der Hochbautechnik und des Entwurfs des Druckbehälters um Rat angegangen. Schließlich traten noch zwei weitere Industriefirmen dem Projekt bei: *Babcock and Wilcox* wurden aufgefordert, die Wärmeaustauscher, und *Whessoe Ltd.*, den Druckbehälter zu entwerfen.

Das so erweiterte Arbeitsgremium nahm das Projekt eines großen Reaktors in Angriff. Durch neue Versuchsergebnisse wurden die Beteiligten in ihrem Vertrauen zu Magnesiumhülsen und Kohlensäurekühlung bestärkt. Man fand Mittel und Wege, die technischen Schwierigkeiten zu überwinden und Probleme des Druckbehälters, der Wärmeaustauscher und des Gebläses zu lösen. Unsicherheiten verschwanden, eine nach der anderen, in rapide wachsendem Tempo, und Einzelheiten des Entwurfs konnten festgelegt werden.

Die Entscheidung, den Kern mit vertikalen Treibstoffkanälen zu bauen, war hauptsächlich deswegen getroffen worden, weil dadurch ein so großes Gewicht innerhalb des Druckbehälters sich um so eher stützen ließ. Durch die vertikale Konstruktion wurde auch das Problem vereinfacht, einen massiven Zylinder aus Graphitziegeln so zu bauen, daß der gerade Verlauf der freien Kanäle bei Erwärmung und Ausdehnung der Ziegel nicht wesentlich abgeändert zu werden brauchte. Trotzdem war es noch immer nötig, zahlreiche Pläne im einzelnen zu überprüfen, bevor eine Anordnung entwickelt werden konnte, die allen Anforderungen Genüge tat. Auch brachte die senkrechte Anordnung neue Komplikationen mit sich. Man hatte jetzt ein Mittel zu finden, die Uranpatronen — oder Treibstoffelemente — vertikal zu stützen, da sie nicht mehr auf der Seite liegen konnten, und die Patronen in den Kern durch den Druckbehälter hindurch einzuführen (oder sie daraus herauszuholen). Zu den weiteren Problemen gehörte das der Handhabung der Kontrollstäbe durch den Druckbehälter hindurch und die Auffindung von Fehlern in den Treibstoffelementen.

Bei den früheren horizontalen Reaktoren wird der Kern einfach dadurch geladen oder entladen, daß man die Uranpatronen durch die Kanäle von einem Ende zum anderen schiebt, aber diese Methode ist bei senkrechten Kanälen nicht so leicht anwendbar. Obendrein müssen Patronen, um in einen Druckbehälter zu gelangen, durch Löcher hindurch, und natürlich muß die Zahl dieser Löcher niedrig gehalten werden, weil sonst der Druckbehälter nicht stark genug wäre, dem nötigen Gasdruck standzuhalten. Demgemäß wurde beschlossen, die Treibstoffelemente von demselben Ende des Gefäßes aus zu laden und zu entladen, und die Kanäle in dem Graphit so zu gruppieren, daß gleich mehrere von ihnen durch ein einziges Loch im Druckbehälter bedient werden konnten. Auf diese Weise wurde die Zahl der Löcher zur Bedienung von etwa 1700 Kanälen auf kaum mehr als hundert reduziert. Die Maschine, die die Patronen durch diese Löcher in den gewünschten Kanal einführt, wird im 3. Kapitel beschrieben werden.

Die Handhabung der Kontrollstäbe bot ähnliche Schwierigkeit wie die Einführung der Treibstoffelemente. In Reaktoren mit horizontalen Kanälen bewegen sich die Stäbe horizontal durch Löcher im Panzer, und die Maschine, mit der sie betrieben werden, befindet sich außerhalb des Panzers an einer kühlen Stelle. Um ein Übermaß an Löchern im Druckbehälter zu vermeiden, faßte man den Entschluß, die — vertikal arbeitenden — Stäbe und ihren Antriebsmechanismus im Druckbehälter selbst anzubringen, den Antrieb an der kühlsten Stelle, nämlich am oberen Ende der vom Hauptgefäß ausgehenden Röhren. Die Funktionen der Sicherungs- und der Kontrollstäbe wurden durch eine Anordnung vereinigt, bei der die Stäbe mit Hilfe einer magnetischen Kuppelung fest an den Kontrollantrieb angeschlossen werden; der Reaktor kann dann

schnell dadurch abgestellt werden, daß der Strom zur Kuppelung unterbrochen wird: dann werden die Stäbe frei und fallen in den Kern hinein. Bei dieser Anordnung vergewissert man sich, daß durch jede Störung, einschließlich eine solche in der elektrischen Stromzuleitung, unmittelbar die Sicherheitsstäbe in Betrieb gesetzt werden. Dies ist ein Beispiel für das Prinzip ‹Störung zur Sicherung›, von dem die Kerntechniker oft Gebrauch machen.

Der Druckbehälter

Der Druckbehälter selbst war eine entscheidende Komponente des Reaktors; mit ihm stand und fiel die Durchführbarkeit des Projektes. In der Tat, selbst ein so fundamentaler Faktor wie der Gasdruck wurde nicht nach der Pumpkraft noch der Wärmeübertragung, sondern nach der größtmöglichen Wanddicke des Druckbehälters bestimmt. Die Lösung solch eines ungewöhnlichen Problems erforderte die Erfahrung von Spezialisten, und deshalb wandte man sich an die Firma *Whessoe Ltd.*

Ein Behälter von den erforderlichen Ausmaßen war offenbar zu groß, um von der Fabrik des Herstellers zum Bauplatz transportiert zu werden. Er mußte deshalb an Ort und Stelle aus Platten zusammengefügt werden, und beim Entwurf ging man deshalb von der Maximaldicke der Stahlplatten aus, die unter solchen Bedingungen geschweißt werden konnten. Auf Grund ihrer Erfahrungen entschieden *Whessoe Ltd.*, daß eine Platte von 5 cm die dickste war, die man mit Sicherheit bearbeiten konnte. Auf dieser Grundlage berechneten sie, daß der Behälter einen Gasdruck von 7 Atmosphären aushalten würde, d. h. etwas mehr, als man nach der vorsichtigen Schätzung in Harwell angenommen hatte.

Die allgemeine Anlage, wie sie für den Druckbehälter vorgeschlagen wurde, ist in Abbildung 5 dargestellt. Es ist ein Zylinder mit gewölbtem Deckel und Boden. Am Boden des unteren Domes befindet sich ein zylindrischer Vorsprung, die Einlaßkammer, in die durch vier große Röhren kühles Gas geleitet wird; die entsprechenden Auslaßröhren für heißes Gas gehen von vier Stellen gerade unterhalb des oberen Domes aus. In diesem selbst befinden sich die Löcher, an denen Rohrstümpfe zum Laden und Entladen des Reaktorkerns angebracht sind. Die Zahl und Größe der Öffnungen, die man für die verschiedenen Kanäle und Rohre lassen mußte, erschwerten nicht wenig den Entwurf, weil die Spannungen, die um eine Öffnung herum auftreten, eine sorgfältig zu berechnende Verstärkung der Ränder erforderlich machen. Das Loch für die Einlaßkammer, wahrscheinlich das größte, das je bei einem Druckbehälter vorgeschlagen wurde, erwies sich als besonders lästig.

Der Reaktorkern ruht innerhalb des Zylinders auf einem Gitter aus Stahlträgern, die an einen kreisrunden Ringträger geschweißt sind; diese Struktur, das sogenannte Diagrid, wird durch an die Innenseite der unteren Wölbung geschweißte Tragarme gestützt. Das

Diagrid hat das Gewicht des Kerns — mehr als 1000 Tonnen — zu tragen, ohne sich in der Mitte um mehr als 0,6 cm durchzubiegen; das System von 35 Gleichungen, die bei dem Entwurf mitspielten, wurde mit Hilfe einer elektronischen Rechenmaschine gelöst. Das auf dem Diagrid lastende Gewicht mußte durch die Wände des Druckbehälters hindurch auf außerhalb befindliche Stützen übertragen werden, und diese mußten so angeordnet sein, daß sie keine

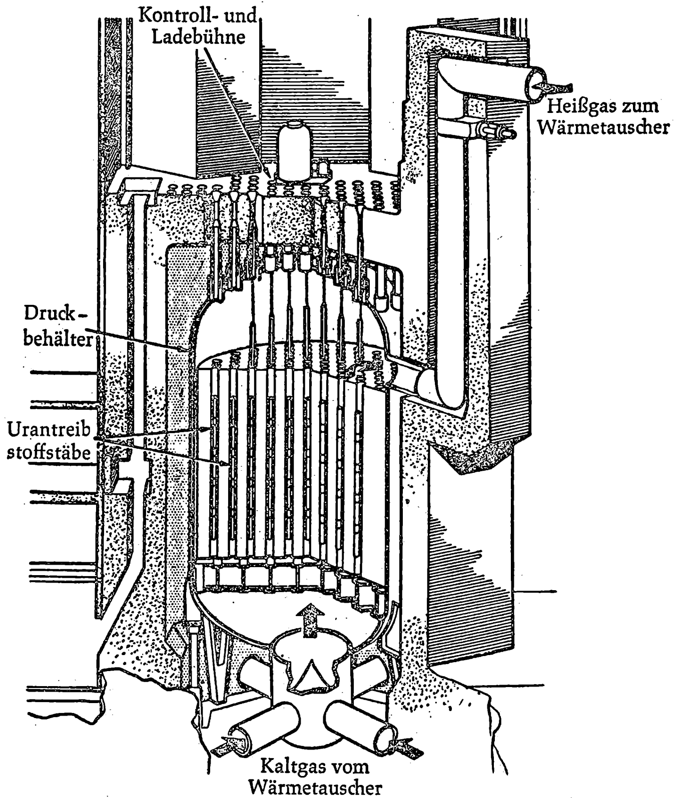


Abb. 5: Kernanordnung innerhalb des Druckbehälters

Spannungen in dem Behälter hervorriefen, wenn er sich unter dem Einfluß von Temperaturänderungen ausdehnte und zusammenzog. Die Konstrukteure konnten auf ihre Erfahrungen im Bau von Gasbehältern und von Druckbehältern für Ölraffinerien zurückgreifen, um ein System von Strebepfeilern mit gekrümmten Enden auszuarbeiten, das allen Anforderungen Genüge tat. Spezifikationen für den Stahl des Behälters wurden in Beratung mit den Stahlfabrikanten festgelegt. Der Stahl mußte bis zu Höchstgraden der Präzision

schweißbar und äußerst biegsam sein, weil man noch nicht recht wußte, wie weit er unter der Einwirkung der Strahlung verhärten würde. Es mußten auch Mittel und Wege gefunden werden, um die Korrosion durch Kohlensäure auf ein Minimum zu reduzieren, und der Gehalt an Kobalt mußte möglichst niedrig gehalten werden, weil dieses Element bei Bestrahlung radioaktiv wird.

Wärmeaustauscher und Betriebskontrolle

Die nächsten großen Komponenten waren die Wärmeaustauscher oder Kessel, in denen Wasser durch die von der heißen Kohlensäure übertragene Wärme in Dampf verwandelt wird. Die meisten Leute verstehen unter Dampf eine weiße Wolke, die aus einem kochenden Kessel aufsteigt; dies ist einfach Wasserdampf unter dem Druck der Atmosphäre und bei der Temperatur des kochenden Wassers. In den Augen eines Ingenieurs ist dies feuchter Dampf von niedriger Qualität und zum Betrieb von Maschinen wenig geeignet. Er braucht sogenannten hochgradigen Dampf, das heißt Dampf bei hoher Temperatur und daher hohem Druck, den man durch Kochen von Wasser in geschlossenen Gefäßen erzeugt. Je höher die Temperatur, desto wirksamer arbeitet die Maschine. Dem Konstrukteur ist es daher um einen Dampfkessel zu tun, der die größte Menge Dampf bei der höchstmöglichen Temperatur erzeugt. In einem Reaktor wie PIPPA ist die maximale Kesseltemperatur durch die Temperatur des Gases, wie es aus dem Kern kommt, festgelegt. Wenn Dampf bei Hochdruck entsteht, so wird dem Gas keine erhebliche Wärme entzogen, und es würde aus dem Kessel noch ziemlich heiß wieder austreten — was nichts weiter ausmachen würde, wenn man nur an der Qualität des Dampfes interessiert wäre; aber das aus dem Kessel austretende Gas muß in den Reaktor zurückgepumpt werden, und die zum Betrieb des Gebläses dafür erforderliche Kraft hängt von der Temperatur des abgekühlten Gases ab: je heißer das Gas, desto größer die nötige Kraft. Diese Gebläsekraft muß im Vergleich mit der erzeugten Kraft auf die Debetseite gesetzt werden, wenn die Nettoleistung des Werkes berechnet wird, und muß daher niedrig gehalten werden. Dementsprechend muß auch die Temperatur des gekühlten Gases möglichst gering sein. Es besteht also ein Konflikt zwischen den Erfordernissen günstigster Dampfverhältnisse und den Erfordernissen sparsamen Betriebs. Die Frage ist mithin, wie zum bestmöglichen Kompromiß gelangen.

Das Harwell-Team unterbreitete der Firma *Babcock and Wilcox Ltd.* einen vorläufigen Vorschlag zur Dampferzeugung. Diese Firma hatte eine Lösung parat, die im Prinzip auf den Vorarbeiten aus dem Jahre 1947 beruhte. Die vielen Hunderte von Berechnungen, die damals angestellt worden waren, hatten gezeigt, daß es wünschenswert sei, Dampf bei zwei verschiedenen Druckgraden zu erzeugen, nämlich in einem sogenannten Zweifachdruck-Kreislauf. Die Methode war folgende. Das heiße Gas aus dem Reaktor sollte

zunächst durch einen Wärmeaustauscher gehen, in dem Dampf von hoher Qualität unter höchstmöglichem Druck erzeugt wurde. Das aus diesem Teil des Wärmeaustauschers austretende Gas war noch immer verhältnismäßig heiß. Es war dann durch eine zweite Abteilung des Wärmeaustauschers zu leiten, in dem Dampf von ziemlich geringer Qualität erzeugt wurde, wobei die Dampfverhältnisse von der Temperatur des austretenden Gases abhingen, die ihrerseits durch die erwünschte Gebläsekraft bedingt war. Der Dampf dieser beiden Grade sollte dann einer Turbine zugeführt werden, die Hoch- und Niederdruck-Zylinder besitzt. Der Hochdruckdampf konnte ungefähr 65 Prozent der Kraft erzeugen, aber auch der Niederdruckdampf mochte sich als nützlich erweisen und die totale Leistungsfähigkeit des Werks erheblich steigern.

Der Dampfkreislauf mit zweifachem Druck hat im Zusammenhang mit der Kontrolle des Gesamtwerks einen wesentlichen Vorzug, besonders falls es plötzlich nötig wird, entweder den Reaktor abzustellen, etwa wegen eines Fehlers in einem der Treibstoffelemente, oder die Turbine (zum Beispiel bei Aussetzen des Zuleitungsstroms). Was immer aber der Grund sein mag: es ist höchst unerwünscht, daß die Temperatur des Reaktors sich plötzlich ändert, weil es dann zu Wärmespannungen kommt, die die Struktur beschädigen könnten. Die Betriebskontrolle ist daher so eingerichtet, daß die Temperatur des Kerns nahezu konstant gehalten werden kann, was auch immer die Belastung sein mag, es sei denn, daß der Reaktor langsam abgestellt wird, weil Treibstoffelemente ersetzt werden müssen. Die Konstanz der Temperatur wird entweder dadurch bewirkt, daß der Temperaturanstieg des Gases bei seinem Durchgang durch den Kern konstant gehalten wird, und zwar ohne Rücksicht auf die Rate der Wärmeerzeugung: man verändert mehrfach die Geschwindigkeit der Gasgebläse und damit der Rate, mit der das Gas durch den Kern fließt; oder aber die Temperatur des Gases wird bei seinem Eintritt in den Kern konstant gehalten, ohne Rücksicht auf die an die Dampfkessel abgegebene Wärme, indem man den Dampfdruck in der Niederdruckabteilung des Kessels verändert (je höher der Druck, desto geringer die dem Gas entzogene Wärme und daher desto höher die Gastemperatur beim Austritt). Diese doppelte Kontrolle ermöglicht auch eine genauere Temperaturkontrolle und ist beträchtlich wirksamer, als es in einem nur von der Veränderung des Gasflusses abhängigen System der Fall gewesen wäre.

In Verbindung mit dem Kontrollsystem steht der sogenannte Abscheide-Kondensator — eine Trommel voller Röhren, durch die kaltes Wasser fließt; Dampf, der in die Trommel eingelassen wird, schlägt sich an den kalten Rohren nieder. Mit Hilfe eines Ventils kann der gesamte Kesseldampf, oder wenigstens ein Teil davon, zu dem Kondensator abgeleitet werden, statt zu der Turbine. Auf diese Weise kann die Dampfbelastung des Kessels konstant gehalten werden, ohne Rücksicht auf die elektrische Belastung des Turbo-Alternators; der Reaktor kann tatsächlich mit voller Kraft weiterarbeiten, selbst wenn der Turbo-Alternator stillsteht. Der Abscheide-

Kondensator gestattet es auch, bei voller Kraft des Reaktors die Turbinen anzustellen und anlaufen zu lassen.

Die Dampfturbinen und Gasgebläse wurden von *C. A. Parsons Ltd.* entworfen, die auf Unternehmerseite die anderen Hauptbeteiligten an der ganzen Möglichkeits-Studie waren. Diese Einheiten werden im 3. Kapitel näher beschrieben werden.

Das Ergebnis der Möglichkeits-Studie

Dies waren also die Hauptkomponenten des in dem endgültigen Bericht über die Möglichkeits-Prüfung beschriebenen Kernkraftwerks. Insgesamt umfaßten sie ein System, das imstande war, über 50 000 Kilowatt elektrischer Kraft zu erzeugen – wobei die Kosten der Kilowattstunde auf nicht mehr als fünf Pfennig veranschlagt wurden – und gleichzeitig beträchtliche Mengen von Plutonium zu erzeugen. Soweit das Entwurfs-Team feststellen konnte, lag die Konstruktion des Werks durchaus im Bereich des Möglichen. Obwohl noch unvollständig, waren die Experimente und technischen Pläne in bezug auf Treibstoffelemente, chemische Verträglichkeit der Strukturstoffe, Wärmeübertragung des Reaktors und die Hauptkomponenten doch weit genug gediehen, um zu zeigen, daß das Auftreten größerer Hindernisse nicht wahrscheinlich war. Kurz gesagt, die Durchführbarkeit war bewiesen.

Die Durchführbarkeits- oder Möglichkeits-Studie ist ein wichtiger Begriff auf einem neuen Gebiet der Technik. Der Leser wird gesehen haben, daß eine solche Studie mit einem allgemeinen Überblick über mögliche Werke anfängt, von denen dann das meistversprechende ausgewählt wird. Es folgt eine realistische Abwägung aller der Probleme, die beim Bau des in Aussicht genommenen Werkes möglicherweise auftreten werden. Freilich ist die Studie nur dann vollständig, wenn verhältnismäßig detaillierte Lösungen der Probleme, nötigenfalls mit Hilfe von Experimenten, erzielt worden sind. Allen solchen Studien liegt schwere Gedankenarbeit in bezug auf alle nur vorstellbaren Seiten des Entwurfs zugrunde; sie beruhen nicht auf unbewiesenen Voraussetzungen oder auf ‹Lösungen im Prinzip›, sondern auf genauen Messungen und auf ins einzelne gehenden technischen Erfahrungen. Das Ergebnis, obwohl kein vollständiger Konstruktionsplan, ist weit mehr als ein genereller Vorschlag; es zeigt, wie die Teilanlagen des Werks errichtet werden können, wie es um die Wirtschaftlichkeit des Betriebs bestellt ist, und wo noch weitere Entwicklungen notwendig sind.

Der Entschluß zum Bau

Das PIPPA-Werk war ursprünglich als Kraftwerk der staatlichen Elektrizitätsbehörde geplant, und zur Zeit der Abfassung des Berichts war die Möglichkeit, ein solches Werk auf einer der CEA-Bau-

stellen zu errichten, schon in Einzelheiten erwogen worden. Inzwischen hatte der Generalstab auf vermehrter Erzeugung von kriegswichtigem Plutonium bestanden, und demgemäß mußte die Abteilung für die Produktion von Atomenergie im Beschaffungs-Ministerium (jetzt die ‹Industrielle Gruppe› der *Atomic Energy Authority*) den Bau eines zusätzlichen, Plutonium erzeugenden Reaktors ins Auge fassen. Sie wollte jedoch keinen ähnlichen Meiler wie in Windscale bauen, weil dessen Anlage veraltet war. Lieber wollte man einen Schritt vorwärts tun und einen Reaktor vom PIPPA-Typ konstruieren, selbst wenn dadurch die Krafterzeugung der Plutoniumproduktion untergeordnet wurde; noch immer stand zu erwarten, daß der Betrieb des Reaktors einen Nettogewinn an Energie erzielte, die dann dem Netzwerk zugutekommen konnte und sich auch durch Zuwachs an Erfahrung mit energieerzeugenden gasgekühlten Reaktoren bezahlt machte. Daher nahm im Februar 1953 die Regierung den Vorschlag an, zur Erzeugung von kriegswichtigem Plutonium und elektrischer Kraft einen einzelnen Reaktor des PIPPA-Typs zu bauen. Die Industrielle Gruppe in Risley sollte bei der technischen Planung und beim Bau des Werks das Harwell-Team nunmehr ablösen. Was nun weiter geschah, und was bei der Konstruktion alles im Spiele war, soll im nächsten Kapitel beschrieben werden.

3. ‹PIPPA› WIRD GEBAUT

Die Konstruktion des neuen Reaktors wurde der Industriellen Gruppe anvertraut, weil der Bau von Fabriken zu ihren Aufgaben gehört. Harwell ist eine Forschungsstätte; seine Funktion ist es, grundlegende Prinzipien aufzustellen und die Grenzen unserer Kenntnisse zu erweitern. Damit, daß es die wissenschaftlichen Daten und den allgemeinen Konstruktionsplan des Kernkraftwerk-Projektes lieferte, hatte es das Seine getan. Jetzt hieß es für die Industrielle Gruppe, diese Ideen in Stahl und Beton umzusetzen. Um die während der Möglichkeitsprüfung erworbenen Einzelkenntnisse voller auszuwerten, wurden einige der daran beteiligten Ingenieure von Harwell nach Risley versetzt, und die Hauptunternehmer erklärten sich bereit, ihre Arbeit an den einzelnen Teilen des Werkes fortzusetzen.

Die Organisation der Konstruktion

Wie üblich, stellte die Industrielle Gruppe ein Team unter Leitung eines Chefkonstrukteurs zusammen, der für Entwurf und Bau des gesamten Werks verantwortlich war. Dieser Ingenieur hatte alle Mittel der Industriellen Gruppe zu seiner Verfügung: die spezialisierten Fertigkeiten ihrer anderen Konstrukteure, ihre Kontakt- und Lieferungs-Organisation, ihre Forschungs- und Ausbildungsstätten, ihre Betriebsabteilung mit ihrer ausgedehnten Erfahrung mit Atomenergiefabriken, und ihren Verwaltungsapparat. Er durfte sich auch

auf die wissenschaftlichen Kenntnisse und Erfahrungen von Harwell und von den am Projekt beteiligten Industriefirmen stützen. Seine Aufgabe war es, die gesamte Arbeit zu dirigieren und zu kontrollieren, und seine Verpflichtung, eine betriebstüchtige Fabrik zu bestimmtem Termin und im Rahmen der gebilligten Voranschläge zu errichten.

Das Entwurfs-Team hatte eine Gesamtstärke von ungefähr 70 Leuten, unterstützt von mehreren hundert Spezialisten; einen wesentlichen Teil des Teams bildete eine Gruppe von *Parolle Ltd.*, die an der Dampfanlage der Fabrik arbeitete. Das Team war für den Entwurf einer jeden Anlage verantwortlich, vom kleinsten Teilstück bis zur größten Installation. Einige Teile wurden auswärts bestellt — in welchem Falle das Planungsbüro eine genaue Kontrolle über die Arbeit des Fabrikanten ausübte. Der technische Plan, die Lieferungen, die Konstruktion, die Kosten und die Zeiteinteilung — für all dies war in letzter Instanz der Chefkonstrukteur verantwortlich. Eine ungeheure Menge Arbeit mußte unter Hochdruck geleistet werden — das Entwurfs-Team begann mit seiner Tätigkeit am 7. April 1953, und nach weniger als dreieinhalb Jahren war ihr 200 Millionen DM-Werk in vollem Betrieb.

Zuallererst mußte aber ein Konstruktions-Programm ausgearbeitet werden. Was für den Konstrukteur feststand, war der Termin der Betriebsaufnahme. Bei all seinen Plänen war dies das einzig unveränderliche, unumstößliche Datum. Auf Grund seiner Erfahrungen konnte er die Zeit abschätzen, die jede größere Bauphase in Anspruch nehmen würde — die der Planung, der Konstruktion und der Betriebsversuche. Dadurch, daß er diese Zeitabschnitte zu dem Endtermin in Beziehung setzte, konnte er ein Programm entwerfen, aus dem die Daten für den Beginn einer jeden Phase in jeder Abteilung des Werks ersichtlich waren. Diese Analyse wird in Form einer graphischen Tabelle dargestellt, in der die Zeitspanne für jede Phase als eine dicke horizontale Linie erscheint; jede dieser Linien trifft auf eine vertikale Linie auf, die dem Endtermin entspricht. Das allgemeine Programm wird dann weiter aufgeteilt, und für jede Phase der Arbeit an jeder Sektion des Betriebs werden Daten bestimmt. Jedes Sonderprogramm wird dem Gesamtprogramm derart eingegliedert, daß kein Teilstück eine Verzögerung erleidet, weil ein anderes, von dem es abhängt, noch nicht fertig ist. Diese Art der Gesamtplanung ist ein wesentliches Merkmal der Arbeitsmethode in Risley.

Einzelplanung: das bedeutet nicht, daß die zu Entwurf oder Konstruktion erforderlichen Tatsachenkenntnisse bei Aufstellung des Plans schon vorhanden sein müssen. Im Gegenteil: wenn es darauf ankommt, eine Fabrik in möglichst kurzer Zeit zu erbauen, und wenn diese Fabrik technisch neuartig ist, dann müssen viele Einzelheiten zu Beginn notwendigerweise noch unbestimmt sein. Zwar bestanden dank der Gründlichkeit der Möglichkeitsprüfung beim Bau von Calder Hall weniger Ungewißheiten als beim Bau der Fabrik in Windscale. Trotzdem gab es noch viele Unbekannte, und die For-

schungen sowohl in Harwell als auch in den Forschungs- und Ausbildungsabteilungen der Industriellen Gruppe wurden fortgesetzt, um die während der Möglichkeitsprüfung geleistete Arbeit zu erweitern und zu untermauern. An der Baustelle wurden Fundamente gelegt und Gebäude errichtet, ohne daß man recht wußte, was ihre Zweckbestimmung war. Aber es war die feste Überzeugung aller Beteiligten, daß das fertige Werk auch betriebsfähig sein würde.

Die Baustelle

Es wurde beschlossen, das neue Werk neben der Plutoniumfabrik in Windscale zu errichten. Die Möglichkeit, diese Fabrik auszubauen, war schon vor einiger Zeit durch Landankauf an der Ostseite des Flusses Calder vorweggenommen worden. Das Land war einmal Teil eines Bauerngutes gewesen, das zu Calder Hall gehörte, einem im 17. Jahrhundert erbauten Herrensitz; die Fabrik trägt ihren Namen nach dem Fluß und dem Gut. Es ist offenes Land, nahe an der See, und über seine sanft gewellten Hügel schweift der Blick des Betrachters zu den fernen Bergen des Lake-District. Von der Straße her gelangt man über die Calder zu der Baustelle auf einer eigens gebauten Brücke. Es gibt keine Eisenbahn, und es wird auch keine gebraucht. Bei einer Kernkraftstation kann man den Treibstoff für ein ganzes Jahr mit einem Dutzend Lastwagen anfahren, wogegen Tausende von Eisenbahnwagen voll Kohle zur Belieferung eines Dampfkraftwerks nötig sind. Auch gibt es keine Schlacken-Depots. Die entladenen Treibstoffelemente mit der darin enthaltenen Kernasche werden auf Lastwagen zu der chemischen Fabrik in Windscale gebracht, wo Spaltprodukte und Plutonium daraus entfernt werden.

Als man mit dem Entwurf begann, war erst ein Reaktor genehmigt, aber es wurden Pläne gleich für zwei ausgearbeitet, und der Bau eines zweiten Reaktors wurde in der Tat nach wenigen Monaten bewilligt. Der Anlageplan von Harwell wurde deshalb etwas erweitert. Die Reaktoren wurden in zwei Gebäuden untergebracht, zwischen denen ein drittes Gebäude stand, das die Turbinen und elektrischen Alternatoren beherbergte. Die Architekten verwendeten besondere Mühe auf das Aussehen und die Anordnung der Gebäude. Die neue Fabrik liegt am Rande des Lake-District, einer der landschaftlich reizvollsten Gegenden Englands, und alle, die damit zu tun hatten, waren darauf bedacht, die Umgebung so wenig wie möglich zu verunstalten. Am höchsten ragen nicht die Reaktoren, sondern die Kühltürme für die Turbinenkondensate empor, deren Wirkung auf das Bild der Landschaft mit Vertretern des Vereins der ‹Freunde des Lake District› erörtert worden war. Kein Teil der Anlage durfte auf das Gelände von Calder Hall selbst übergreifen; das unbebaute Land, durch das die Calder fließt, blieb unberührt und die vom Fabrikzaun umschlossene Fläche denkbar schmal. Die Fabrikgebäude sind einfache Bauten, deren Stahlgerüst mit Beton und Glas ausgefüllt ist; die die Reaktoren umgebenden Wärmeaus-

tauscher blieben unbedeckt. Jedenfalls hat man nicht versucht, den Zweck der Fabrik zu verschleiern, wohl aber sich bemüht, mit lebhaften Farben die Strenge ihrer Linien zu mildern.

Änderungen im Entwurf

Was den technischen Entwurf des Reaktors betraf, so waren einige Änderungen erforderlich. PIPPA war in erster Linie als ein Kraftwerk geplant worden, das auch Plutonium produziert. Calder Hall dagegen sollte als Fabrik einer doppelten Bestimmung dienen, nämlich sowohl Plutonium als auch Kraft zu erzeugen. Bei einem Kraftwerk ist es dem Konstrukteur vor allem darum zu tun, dem Reaktor Wärme bei der höchstmöglichen Temperatur zu entlocken, weil nur auf solche Weise die Wärmemaschine leistungsfähig wird. Bei der Plutoniumerzeugung handelt es sich lediglich darum, dem Reaktor so viel Wärme wie möglich zu entziehen, weil der Plutoniumbetrag der freigemachten Wärmemenge direkt proportional ist; die Temperatur, bei der die Wärme greifbar wird, ist unwesentlich, sofern sie nicht die Lebensdauer des Kerns beeinträchtigt. Um dieser neuen Anforderung Genüge zu tun, mußte also der PIPPA-Entwurf nochmals vervollkommnet werden. Es mußte möglich sein, einen höheren Wärmebetrag zu gewinnen, wenn man das Kühlgas dem Reaktorkern bei einer niedrigeren Temperatur nochmals zuleitete; nur daß eben infolge der niedrigen Temperatur das Mehr an Wärme nicht wesentlich zur Kraftleistung beitrug. Doch als die Ingenieure den besten Entwurf für die Wärmeaustauscher unter den neuen Bedingungen erwogen, stellte sich heraus, daß der Zweifachdruck-Kreislauf soweit zu modifizieren war, daß sich ein Sonderbetrag an Plutonium ohne Verlust an elektrischer Kraft ergeben würde. Freilich waren die neuen Dampfverhältnisse nicht so günstig wie die ursprünglichen, weil sie einen viel größeren Fluß an Niederdruckdampf verursachten, und das bedeutete, daß größere und daher kostspieligere Kessel und Turbinen gebraucht wurden. In der Tat ließ sich eine Erhöhung der Plutoniumproduktion nur mit einer vermehrten Kapitalinvestition für das Dampfwerk und die Turbinen zugunsten einer bestimmten elektrischen Leistung erkaufen.

Nachdem die neuen Bedingungen festgelegt waren, konnte es mit dem Entwurf vorangehen. Der Reaktor selbst war nur wenig betroffen, um so mehr dafür aber die Dampfabteilung und damit auch viele Hilfsanlagen. Eine Vorstellung von den technischen Mühen, die die ganze Arbeit erforderte, kann man aus der Bemerkung eines Ingenieurs von *Babcock and Wilcox* gewinnen, dem eben die neuen Vorschläge für den optimalen Dampfkreislauf unterbreitet worden waren: den früheren Berechnungen, so erklärte er, verdankten sie bereits soviel Fingerspitzengefühl für das Werk, daß sie jetzt nur noch 40 neue Berechnungen anzustellen brauchten.

Die Seele des Werkes ist natürlich der Reaktor. Von außen sieht er wie eine große Kesselpauke aus, so groß wie zwei übereinander-

geschichtete Häuser, oben und unten gewölbt, und aus dem oberen Dom ragt ein Wald von Röhren heraus, wie Nadeln aus einem Nadelkissen, an dem unteren dagegen ist eine weitere Pauke angebracht, klein im Verhältnis zum Hauptkessel (nicht viel größer als eine Lokomotive), in die vier große Gasrohre einmünden, während gerade unterhalb des Nadelkissens vier weitere Gasrohre austreten, die das heiße Gas zu den Wärmeaustauschern ableiten sollen. Im Innern des Ganzen befindet sich der Reaktorkern mit mehr als tausend Tonnen Graphit, etwas über zehntausend Uranstäben und allem Zubehör der Kontrolle und des Betriebs. Der Kern wird beim Betrieb äußerst radioaktiv, und selbst der dicke Stahl des Druckbehälters kann flüchtige Neutronen und Gammastrahlen nicht aufhalten. Der Reaktor ist daher mit einem Betonpanzer von mehr als zwei Meter Dicke umgeben, der die Intensität der Strahlungen auf ein unschädliches Maß reduziert. Im Querschnitt ist dieser Panzer nicht kreisförmig wie der Reaktor, sondern achteckig, weil diese Form aus Beton leichter herzustellen ist. Zwischen dem Betonpanzer und dem Druckbehälter hat man einen Panzer aus 15 cm dicken Stahlplatten angebracht, um den Beton vor der Hitze zu schützen, die von der Verdünnung der Reaktorstrahlung herrührt. Dieser thermische Panzer ist von dem Beton durch einen Zwischenraum von einigen Zentimetern getrennt, durch den zur Kühlung des Panzers Luft heraufgeblasen wird. Sie wird durch zwei Stahlschornsteine auf dem Dach des Meilergebäudes herausgelassen. An den vier Ecken des das Achteck stützenden Fundaments befinden sich vier Betonsockel, auf denen die vier Wärmeaustauscher angebracht sind. Das Achteck und sein Reaktor sind von einem Gebäude mit Stahlgerüst umschlossen, und in ähnlichen, damit in Verbindung stehenden Gebäuden befinden sich der Kontrollraum, das Treibstofflager, die Entladungsapparatur und verschiedene Hilfsanlagen.

Nach dem allgemeinen Konstruktionsschema sollten zunächst das Fundament und darauf der achteckige Panzer errichtet werden. Gleichzeitig sollte der Druckbehälter in Teilstücken hergestellt und diese sollten dann durch einen Kran in den fertigen Panzer hineingehoben und dort zusammengeschweißt werden. Sobald der Druckbehälter fertig war, sollte das Dach des Panzers angebracht werden. Dieses Verfahren wurde aus Gründen der Zeitersparnis gewählt; sowohl der Panzer wie der Druckbehälter sind größere Bauunternehmen, und wenn die Arbeiten nicht gleichzeitig vor sich gegangen wären, so hätte man eine Menge Zeit, mindestens ein volles Jahr, verloren. Inzwischen sollten die vier Wärmeaustauscher zusammen- und auf ihren vier Sockeln rings um den Reaktor herum aufgestellt werden. Der Plan war einfach. Was dabei an technischen Bemühungen im Spiele war, werden wir in den nächsten Abschnitten sehen.

Beim Bau einer neuen Fabrik stellen sich als erste die Bauunternehmer ein, die die Baustelle vorbereiten, Straßen legen, die Fundamente errichten und für die Zuleitung von Wasser, Gas, Elektrizität usw. sorgen. In der nächsten Phase kommt es zu Konstruktionen aus verstärktem Beton, zur Errichtung von Stahlgerüsten, Ausfüllung der Gebäudemauern, und schließlich zur Installation der Maschinerie. Bei Calder Hall waren die Hauptunternehmer *Taylor Woodrow Construction Ltd.*; die Stahlarbeiten wurden von *Alexander Findlay and Co.* ausgeführt und die Maschinerie von *Mathew Hall Ltd.* installiert.

Die größeren Konstruktionen begannen mit den Ausschachtungsarbeiten für das Reaktorfundament. Der Reaktor mit seinem Panzer und den dazugehörigen Gebäuden wiegt 22 000 Tonnen; er ruht auf einer Platte aus verstärktem Beton, 3.30 Meter dick, etwa 40 Meter lang und etwas mehr als 30 Meter breit — was noch ein zusätzliches, auf dem Unterboden lastendes Gewicht von beinahe 10 000 Tonnen ergibt. Diese Platte durfte nach der Fertigstellung unter keinen Umständen verrücken oder einsinken, da sonst der auf ihr ruhende biologische Panzer hätte springen können. Der Beton mußte also durchweg von hoher Qualität sein und so gegossen werden, daß Verschiebung und Schrumpfung auf ein Mindestmaß beschränkt blieben. Auch sonst mußten während des Baues große Mengen von Beton immer wieder mit einem ungewöhnlich hohen Grad von Präzision gemischt und gegossen werden, namentlich bei dem biologischen Panzer. Deshalb wurde eine große Sonderanlage zur Behandlung der Rohstoffe und zur Mischung des Betons errichtet, und zum Transport und zum Gießen des gemischten Betons wurden besondere Vorkehrungen getroffen. Die einheitlich hohe Qualität wurde dadurch sichergestellt, daß der Rohmasse häufig Proben entnommen und in einem eigens dafür erbauten Laboratorium auf ihre Zusammensetzung, Dichte und mechanischen Eigenschaften untersucht wurden.

Der achteckige Panzer ist aus verstärktem Beton hergestellt, er ist mehr als 25 Meter hoch und hat einen inneren Durchmesser von etwa 14 Meter. Der Spezifikation entsprechend durften die Innenwände ihrer ganzen Höhe nach an keiner Stelle mehr als einen halben Zentimeter von der Vertikalen abweichen. Dieser Genauigkeitsgrad geht weit über die üblichen Normen der Bautechnik hinaus. Um ihn zu erreichen, wurde in Gesamthöhe des Panzers eine ‹Spinne› errichtet, d. h. ein achteckiger Turm aus Stahlträgern, der auf die erforderliche Genauigkeit abgestimmt werden und als Halt für gewissenhaft verfertigte Holzbretter dienen konnte, gegen die dann der Beton gegossen wurde. Um Zwischenräume und Dichtenunterschiede zu vermeiden, ließ man bei der Verfugung der Lagen wie beim Gießen und Schwenken des Betons besondere Sorgfalt walten, namentlich in der Nähe der vielen durch den Panzer hindurchgehenden Öffnungen für die Kanäle und Rohre.

Der Entschluß, den Druckbehälter in Teilstücken zu bauen und diese in das Achteck hineinzuheben, brachte es mit sich, daß sehr schweres Hebezeug nötig war. Man bediente sich eines hundert Tonnen schweren Derrick-Krans, der auf einem 27 Meter hohen Stahlturm aufmontiert und an der Baustelle als der ‹Riesenstock› bekannt war. Er wurde durch acht Drahtseile von 240 Meter Länge gehalten, die in Betonblöcken von 30 Tonnen verankert waren. Um zu verhüten, daß diese Halteseile bei irgendeinem Stadium der Konstruktion den Beteiligten in den Weg gerieten, wurde ein Miniatur-Modell der gesamten Fabrik hergestellt, bei dem Bindfäden die Rolle der Drahtseile übernahmen und so die Frage ihrer zweckmäßigsten Anordnung klären halfen.

Die Beschaffung von hinreichend geeignetem Hebezeug ist für den raschen Fortgang von Bauarbeiten höchst wichtig, und der ‹Riesenstock› war auf der Baustelle bei Calder Hall nur der größte von vielen Kranen jeden Kalibers. Ein Besucher bemerkte einmal, daß die Arbeiter auf dem Bau offenbar niemals etwas Schwereres als einen Hammer zu heben hätten: immer war ein Kran zur Hand. Die Vorrichtungen zum Heben, zumal der schweren Teile des Reaktors, beherrschten das Bild des Baues und mußten daher gleich bei Beginn des Entwurfs in Betracht gezogen werden.

Der Druckbehälter wurde aus Stahlplatten zusammengefügt, die in der Fabrik des Lieferanten hergestellt und geformt worden waren; jede Platte wurde mit Ultraschallmethoden auf Fehler geprüft. Die Kanten der Platten wurden durch Abschrägung für die Schweißung vorbereitet. Dies geschah mit Hilfe einer Planiermaschine, solange die Platten noch flach waren. Sie wurden dann in der für die mittleren zylindrischen Sektionen erforderlichen Weise durch Rollen gekrümmt. Aber an den beiden domförmigen Enden wurden sie in zwei verschiedenen Richtungen gekrümmt, und es mußte erst eine besondere Maschine zur Bearbeitung ihrer Kanten gebaut werden.

Die fertigen Platten wurden an die Baustelle geschafft und dort, wie oben erwähnt, zu fünf Sektionen zusammengeschweißt, dem oberen und unteren Dom, zwei zylindrischen Sektionen und dem Diagrid. Diese Sektionen wurden auf Rädern zusammengestellt, die auf Schienen liefen; was fertig war, wurde dann zum Reaktorgebäude gerollt, zum Heben bereit. Versteifungsrohre waren auf der Innenseite jeder Sektion angeschweißt worden, um beim Heben Verzerrungen zu verhüten. Zur Erleichterung des Schweißens wurde der untere Dom verkehrt herum zusammengestellt. Er mußte daher umgedreht und fast 40 Meter in die Luft gehoben, dann über das Achteck hinweggeschwungen und vorsichtig genau an der ihm zukommenden Stelle niedergelassen werden. Es war faszinierend zu beobachten, mit welch scheinbarer Mühelosigkeit der große Kran diese Stücke von 80 bis 90 Tonnen, jedes so groß wie ein einstöckiges Haus, hin- und herbewegte; man kann sich leicht vorstellen, wie ungeheuer geschickt die Arbeiter sein mußten, die den

Kran bedienten. Nach dem unteren Dom wurde die erste zylindrische Sektion an Ort und Stelle gebracht, wo sie genau auf dem Rand des umgekehrten Domes auflag. Dann wurden die beiden Teile zusammengeschweißt. Es folgte die zweite zylindrische Sektion, und nachdem sie angeschweißt worden war, wurde das Diagrid in den Zylinder gesenkt, um auf seinen, auf der Innenseite des unteren Domes angebrachten Tragarmen zu ruhen.

Zum Schluß kam der obere Dom, das Nadelkissen. Wegen der Rohrstümpfe war dies der komplizierteste Teil der Struktur. Diese Rohre mußten mit den Kanälen im Graphitkern innerhalb des Druckgefäßes übereinstimmen und obendrein noch mit den Löchern in dem — noch ungebauten — Betondach des achteckigen Panzers. Sie mußten daher sehr genau am Dom angebracht werden, was eine hochentwickelte Technik im Zusammenstellen und Schweißen voraussetzte.

Man kann sich vorstellen, daß der Bau des Druckbehälters ein beträchtliches Maß an höchstqualifizierter Schweißarbeit erforderte, die der Bauunternehmer nur seinen erfahrensten Schweißern anvertraute, und jeder Zentimeter Schweißnaht wurde mit Röntgenstrahlen nach der ersten der strengen Normen von Lloyds untersucht. Einige der Schweißungen erforderten mehrere Stunden ununterbrochener Arbeit.

Schweißen verursacht stets Spannungen im Metall, und wenn diese nicht beseitigt werden, so können sie Fehler herbeiführen, besonders in einer unter hohem Druck stehenden Struktur. Diese Spannungen können dadurch ausgeglichen werden, daß man den Stahl auf eine hohe Temperatur erhitzt. Bald nachdem der Druckbehälter fertig war, wurde er deshalb mit einer Art Teewärmer aus Isolierstoff umgeben, und im Innern wurde das größte elektrische Feuersystem der Welt installiert — ein Netzwerk von 5 Zentimeter dicken Stahlrohren in Form eines gigantischen Papageienkäfigs —, dem dann 1500 Kilowatt elektrischer Energie zugeführt wurden. Langsam erhitzte sich der Behälter, bis er nach beinahe drei Tagen eine Temperatur von 600° C erreichte — Rotglut. Diese Temperatur wurde einen Tag lang aufrechterhalten, und dann wurde der Strom abgestellt und die Struktur langsam abgekühlt. Dies ist das größte Gefäß, das bisher mit dieser Methode des Spannungsausgleichs behandelt worden ist.

Nunmehr folgte eine Druckprüfung. Gewöhnlich werden Druckgefäße dadurch geprüft, daß man sie unter dem gewünschten Druck mit Wasser füllt; aber bei einem Gefäß dieser Größe würde das Gewicht des Wassers den Stützen übermäßige Spannungen auferlegt haben. Statt dessen wurde beschlossen, die Prüfung mit Luft vorzunehmen. An strategischen Punkten des Behälters wurden Spannungsmesser angebracht, und die Fugen wurden mit einem brüchigen Lack überstrichen, der in Richtung einer jeden sich entwikkelnden Spannung springen mußte. Alle Löcher wurden durch Anschweißen von Stahlblech geschlossen, und der Druck wurde durch Einpumpen von Luft jeweils um ein Geringes erhöht. Vor jeder

weiteren Erhöhung wurden alle Spannungsmesser abgelesen und alle lackierten Fugen überprüft. Zum Zwecke einer letzten Prüfung wurde der Druck in dem Behälter auf 0.1 at herabgesetzt. Der zufriedenstellende Abschluß dieser Prüfungen bedeutete einen Meilenstein im Bauprozeß, denn nun wußten die Konstrukteure, daß ihr Behälter den geplanten Druck mit Sicherheit aushalten konnte.

Die nächste Aufgabe nach Fertigstellung des Druckbehälters bestand darin, das Dach auf den biologischen Panzer zu setzen. Dies wurde aus verstärktem Beton hergestellt, war 2,40 Meter dick und wog viele hundert Tonnen. Auf der Unterseite mußte es ganz flach sein; zulässig war nicht mehr als ein halber Zentimeter Abweichung von der Ebene. Zu diesem Zweck wurde eine Methode angewandt, die bei den Meilern in Windscale entwickelt worden war. Kreuz und quer zwischen den Wänden wurden Strebepfeiler aus Bailey-Brücken gespannt. An diesen wurden Stahlplatten angebracht und zu einem permanenten Verschluß zusammengeschweißt. Diesen Platten wurde eine Krümmung nach oben erteilt, die so berechnet war, daß das auf ihnen lastende Gewicht des gegossenen Betons eine Durchbiegung hervorrief, die die Krümmung genau aufheben würde: und das Ergebnis war eine flache Unterseite. Mehr als hundert Löcher, die mit den Rohren in dem darunter befindlichen Druckbehälter übereinstimmen, gehen durch dieses Dach hindurch.

Das Aufstapeln des Graphitkerns

Nun folgte eine der kompliziertesten Operationen, der Aufbau des aktiven Zentrums des Unternehmens, nämlich des Reaktorkerns im Innern des Druckbehälters. Dieser Kern ist etwas über 8 Meter hoch, hat einen Durchmesser von mehr als 10 Metern und wird von nahezu 1700 Kanälen durchschnitten. Er besteht aus 58 000 maschinenmäßig genau hergestellten Graphitblöcken und -ziegeln, die derart ineinandergefügt sind, daß während der Lebensdauer des Reaktors keine Änderung der Struktur Abstand und Größe der Kanäle für Treibstoffelemente und Kontrollstäbe in Mitleidenschaft zu ziehen vermag. Der Aufbau ist Schicht für Schicht berechnet, und die Lage, Form und Größe eines jeden Blocks und Ziegels sind auf einer Reihe von Schichtzeichnungen vermerkt, wobei jeder Block an seiner Lage-Nummer erkenntlich ist. Die Blöcke sind mit einer Genauigkeit von 0,05 Millimeter hergestellt.

Unter keinen Umständen durfte der fertige Kern Unreinheiten enthalten, die womöglich Neutronen absorbieren konnten. Die Graphitblöcke wurden daher unter Bedingungen hergestellt, die an Sauberkeit den aseptischen Verhältnissen in einem Operationssaal vergleichbar waren. Jeder fertige Block wurde mit seiner Kennummer gezeichnet, mit einem Staubsauger gereinigt und durch Luftbehandlung vor Korrosion geschützt. Danach wurden während der ganzen Aufstapelungs- und sonstigen Arbeiten im Innern peinlich saubere Arbeitsbedingungen gewahrt. Alle Arbeiter mußten die

Kleidung wechseln, bevor sie den versiegelten Behälter betreten durften, und Brillen, Armbanduhren und sonstiges persönliche Eigentum wurden kontrolliert, um zu verhüten, daß irgendein Gegenstand versehentlich im Reaktor gelassen wurde. Gewisse Metalle, wie etwa Messing, waren verboten. In diesem elektrisch beleuchteten, künstlich mit Frischluft gespeisten Behälter arbeiteten die Leute, abgeschlossen von der Außenwelt, des Tages und der Nacht nicht gewärtig, klinisch sauber, auf einem Haufen von kohlschwarzem Graphit.

Wenn 60 000 Ziegel zu einem Gebäude von der Größe eines Hauses zusammengefügt werden sollen, wobei kein Teil von der geplanten Größe um mehr als ein viertel Millimeter abweichen darf, dann sind zur Kontrolle der Genauigkeit ungewöhnliche Vorsichtsmaßregeln erforderlich. Die Inspektion der Arbeiten war außerordentlich gründlich. In der Tat war von den drei Schichten, die 24 Stunden lang mit dem Stapeln beschäftigt waren, eine ausschließlich auf Inspektion beschränkt. Beaufsichtigung und Inspektion waren von ähnlicher Bedeutung auch in anderen Teilen des Baues, wo es auf hohe Genauigkeit und scharfe Kontrolle ankam; zum Beispiel beim Gießen des Betons für das Achteck und bei der Errichtung der Wärmeaustauscher.

Die Ladungs- und Entladungsapparatur

Um das Bild des Reaktors zu vervollständigen, wollen wir hier drei größere Hilfsanlagen beschreiben, die freilich beim Aufbau erst in einem späteren Stadium installiert wurden: zunächst die Ladungs- und Entladungsapparatur. Die Treibstoffelemente (die Uranstäbe in ihren Hülsen) werden in den Kern hinein- oder aus ihm herausbefördert durch eine bewegliche schnauzenförmige Gleitbahn, die am oberen Ende in das Druckgefäß eingelassen und an einen Kanal herangeführt wird. Ein elektrisch betriebener Greifer am Ende eines Stahlkabels wird durch die Gleitbahn heruntergelassen und erfaßt automatisch die erste Patrone. Das Kabel wird dann aufgewickelt, und die Patrone wird in einem stahlgeschützten Korb abgelegt, wonach die Operation wiederholt wird, bis der Kanal leer ist. Die Gleitbahn wird dann zu dem nächsten Kanal geführt, und so fort, bis alle Kanäle der betreffenden Gruppe ausgeleert sind.

Die für diesen Zweck bestimmte Betriebsapparatur ist auf einer Entlademaschine montiert, die auf Rädern auf dem Panzerdach entlangläuft. Sobald ein Korb mit Patronen gefüllt ist, wird die Maschine weiterbefördert, bis sie sich über einem neben dem Gebäude gelegenen Brunnen befindet; der volle Korb wird durch das Brunnenloch in einen mit Wasser gefüllten Tank gesenkt. In ähnlicher Weise wie die Entlademaschine füllt eine Lademaschine die leeren Kanäle mit frischen Patronen. Jeder Reaktor hat zwei Maschinen von beiderlei Art.

Aufspüren fehlerhafter Treibstoffelemente

Die zweite wichtige Hilfsanlage dient dazu, fehlerhafte Treibstoffelemente aufzuspüren und zu lokalisieren. Ein Loch in der Hülse eines Brennstoffelements muß sofort entdeckt werden, weil sonst Spaltprodukte, aus dem Uran in den Gasstrom entweichend, die Wärmeaustauscher und andere Teile des Gaskreislaufs zu verunreinigen drohen. Wenn es wirklich zu solcher Verunreinigung käme, müßte man Schutzpanzer aus Beton um die Wärmeaustauscher und den Gaskreislauf bauen; bei Verhütung der Verunreinigung entfällt diese Notwendigkeit, und die Konstruktion ist wesentlich vereinfacht. Die Entdeckungsmethode ist im Prinzip ganz einfach und so empfindlich, daß ein Loch von der Größe eines Nadelstichs ohne Mühe aufgefunden werden kann. Enge Röhren aus rostfreiem Stahl, für jeden Kanal eine, leiten einen winzigen Gasstrom vom Kanal zu einem Radioaktivitätsdetektor in dem anschließenden Kontrollgebäude. Der Detektor schnüffelt an einer Röhre nach der anderen, bis im Laufe einer halben Stunde sämtliche Kanäle überprüft sind; wenn das Radioaktivitätsniveau des Gases das durchschnittliche Hintergrundmaß übersteigt, müssen Spaltprodukte aus einer fehlerhaften Hülse entweichen. Die Aktivität wird ohne Unterbrechung verzeichnet, und ein außergewöhnlich hoher Betrag setzt eine Warnungsglocke in Betrieb. Wie kompliziert in der praktischen Durchführung das ganze System ist, läßt sich ermessen, wenn man bedenkt, daß es 1700 Kanäle gibt und daß für jeden von ihnen eine besondere Schnüffelröhre erforderlich ist. Die Stahlröhren in der Apparatur haben eine Gesamtlänge von 72 Kilometer, und jeder einzelne Zentimeter mußte unter Bedingungen von absoluter Reinlichkeit hergestellt und installiert werden.

Kontrollmaßnahmen

Drittens müssen wir die Kontrollmaßnahmen betrachten. Das Werk hat zwei Hauptkontrollpunkte, einen für den Reaktor und einen für die Generatorenanlage. Vom Standpunkt des Reaktors ist das Dampf- und elektrische Werk einfach ein Kühlsystem. Vom Standpunkt der elektrischen Kontrolle (die sich im Turbinengebäude befindet) ist der Reaktor einfach eine Dampfquelle, die zur Erzeugung von Elektrizität verwendet oder niedergeschlagen werden kann — je nach dem Bedarf des Elektrizitätsnetzes.

Die allgemeine Methode der Reaktorkontrolle ist schon im Zusammenhang mit dem Dampfkreislauf beschrieben worden. Das Kernkraftniveau wird dadurch kontrolliert, daß neutronenabsorbierende Borstahlstäbe in den Kern hinein- und aus ihm herausgeschoben werden; der Temperaturanstieg innerhalb des Kerns wird durch Veränderung der Gasflußgeschwindigkeit konstant gehalten, während die Gastemperatur beim Eintritt in den Kern durch Veränderung des Dampfdrucks in dem Niederdruckkessel kon-

stant gehalten wird. Es gibt also drei Hauptkontrollen, eine für die neutronenabsorbierenden Stäbe, eine für die Geschwindigkeit des Gasgebläses und eine für den Niederdruckkessel. Diese Kontrollen, zusammen mit Registraturen für das Energieniveau und mit einer übergeordneten Kontrolle für die Sicherungsfunktion der Stäbe, sind auf einem Pult angebracht, an dem der kontrollierende Ingenieur sitzt. Dahinter befinden sich, hufeisenförmig angeordnet, einige Wandtafeln. Die mittelste Tafel enthält eine schematische Darstellung des Werks mit dem Reaktor und seinen vier Wärmeaustauschern, und dazwischen sind gewisse Instrumente angebracht, die beim Reaktor die Lage der Kontrollstäbe und den Gasdruck im Druckbehälter anzeigen und bei jedem Wärmeaustauscher den Fluß und den Druck von Gas und Dampf. Auf anderen Tafeln sind jeweils die Temperaturen an verschiedenen Stellen des Werks verzeichnet, weiter der Zustand der diversen Hilfskreisläufe und das Auftreten von Fehlern. Das System entspricht genau dem, das man in jeder gut konstruierten Fabrik finden kann, und ist nur insofern ungewöhnlich, als die Eigenschaften des Werkes selbst ungewöhnlich sind.

Das Kontrollsystem ist so beschaffen, daß es bei normalem Betrieb Sicherheit gewährleistet und im Notfall Schutzvorrichtungen auslöst. Doch müssen wir betonen, daß es sich hier um ein nach allen Regeln ganz besonders sicheres Werk handelt, weil einem gasgekühlten Natururan-Reaktor Sicherheitseigenschaften innewohnen, die bei der Anlage für Calder Hall voll ausgenützt worden sind. Da das Kühlgas Neutronen nicht absorbiert, würde ein zu rapidem Verlust an Kühlung führender Unfall keineswegs Energieanstieg und Überheizung des Reaktors zur Folge haben, bevor die Kontrollstäbe in Betrieb gesetzt werden könnten. Obendrein ist es eine Eigentümlichkeit des Reaktors, daß seine Reaktivität bei ansteigender Wärme abnimmt. Auch dies ist ein natürliches Sicherheitsventil, da irgendwelche Umstände, die einen Anstieg der Temperatur verursachen, gleichzeitig eine Herabsetzung der Energie bewirken würden, was den Anstieg wiederum ausgleicht. Auf alle Fälle kommt es bei einem so großen Kern nur sehr allmählich zu Änderungen der Temperatur. Schließlich ist Kohlensäure weder giftig noch entzündlich — im Gegenteil trägt sie dazu bei, ein Feuer zu ersticken. All diese Faktoren garantieren, über die planmäßig eingebauten Sicherungen des Kontrollsystems und die Anlage von Radioaktivitätsanzeigern hinaus, eine natürliche Sicherheit.

Instrumente

Zahlreiche Spezialinstrumente waren erforderlich, um die Aufschlüsse zu vermitteln, auf denen das Kontrollsystem beruht. Dazu gehören Meßinstrumente und Zeiger für Gasfluß, Druck, Feuchtigkeit und Temperatur in allen Teilen des Werkes, einschließlich ausgewählter Brennstoffelemente im Kern. Für einige Zwecke konnten

die üblichen Apparaturen verwendet werden, aber häufig mußten in Risley in Zusammenarbeit mit der Industrie Spezialinstrumente entwickelt werden. Eine wichtige Gruppe von Instrumenten dient der Messung der Betriebsenergie des Reaktors, genauer der Dichte der ‹Neutronenbevölkerung› (oder des Neutronenflusses) im Kern. Diese Instrumente wurden in Harwell entworfen und von Industriefirmen vervollkommnet und hergestellt. Der Reaktor von Calder Hall stellte den Konstrukteuren von Kern-Meßinstrumenten verschiedene neue Probleme. Eines der schwierigsten hing mit der Tatsache zusammen, daß der Kern sich im Innern eines Druckbehälters befand, wo alles sehr heiß ist. Bei anderen Reaktoren hatte man kühle oder ziemlich kühle Stellen für die Meßapparate ausfindig machen können, und es lockte niemanden zu versuchen, verläßliche elektrische Messungen in heißem Gas unter Hochdruck vorzunehmen. Die Schwierigkeit wurde folgendermaßen überwunden. Die zu messende Größe, von der die Energie des Reaktors abhängt, ist der Fluß der thermischen Neutronen im Kern. Dieser Fluß wird normalerweise mit einer sogenannten Ionisationskammer gemessen, die im Graphit, nahe am Rande des Kerns, angebracht wird. Wie oben erwähnt, war bei dem Reaktor von Calder Hall diese Stelle ungeeignet, und da die dicken Stahlwände des Druckbehälters die thermischen Neutronen leicht absorbieren können, wäre die Kammer außerhalb des Behälters unwirksam gewesen. Aber Stahl kann die schnellen Neutronen nicht aufhalten. Daher wurde vorgeschlagen, einen großen Graphitblock gerade außerhalb des Druckbehälters aufzustellen; die in den Block eindringenden Neutronen konnten dann auf thermische Energien gebremst und von einer Ionisationskammer innerhalb des Blocks registriert werden. Diese Anordnung ist tausendmal so empfindlich wie eine von Messungen schneller Neutronen abhängige Methode.

Eine weitere Neuerung war eine Methode zur Messung der Kernkraft — selbst bei abgestelltem Reaktor. In diesem Zustand findet keine Kettenreaktion statt. Da aber ein gewisser Teil der Uranatome spontane Spaltungen erleidet, ist doch noch ein geringer Neutronenfluß vorhanden, der einer Energie von etwa 1 Milliwatt entspricht. Wenn der Reaktor aufgestellt wird, wächst der Neutronenfluß, bis die Kettenreaktion einsetzt, was bei einem etwa 10 Watt entsprechenden Fluß geschieht. Während der Anlaß-Operationen werden daher Messungen des Flusses bei äußerst niedrigem Niveau gebraucht, niedriger, als es durch Fabrikinstrumente zu messen war. Es wurde daher beschlossen, den Neutronenfluß bei abgestelltem Reaktor durch Anbringung einer starken Neutronenquelle im Reaktorkern zu erhöhen; der durchschnittliche Fluß stieg dann auf ein Niveau entsprechend etwa einem Watt, und kleine Abweichungen von diesem Durchschnitt konnten leicht mit industriellen Instrumenten gemessen werden. Die Neutronenquellen wurden aus Antimon und Beryllium hergestellt. Keines dieser beiden Metalle ist in seinem Normalzustand radioaktiv, aber wenn das Antimon den Neutronen in einem Reaktor ausgesetzt wird, so wird es teil-

weise in das Isotop Antimon 124 verwandelt; dieses Isotop ist radioaktiv und sendet Gammastrahlen aus, die aus den Berylliumkernen Neutronen auslösen. Die Quellen werden also tatsächlich von dem Reaktor, in dem sie verwendet werden, selbst erzeugt, ein Kunstgriff, der ihre Herstellung beträchtlich vereinfacht und verbilligt.

Sobald die Kettenreaktion eingesetzt hat, steigt der Neutronenfluß mit der Reaktorenergie, bis er bei voller Kraft etwa 20 000 Kilowatt entspricht. Vom Stillstand bis zur vollen Kraft muß also der Fluß über einen Bereich von 1 zu 200 000 000 gemessen werden, und das ist sehr viel mehr, als ein einzelnes Instrument bewältigen kann, selbst dann, wenn das Niveau der neutronerhöhenden Quellen niedrig ist. Es werden in der Tat sechs Gruppen von Instrumenten verschiedener Typen verwendet, die so angeordnet sind, daß bei jedem Kraftniveau mindestens zwei Typen den jeweiligen Grad der Energie anzeigen. Auf dem niedrigsten Niveau arbeiten zwei Detektoren, Ionisationskammern und Bor-Trifluorid-Rhythmusmesser; der Zweck der letzteren ist hauptsächlich, unmittelbar nach dem Abstellen gewisse Registrierungen vorzunehmen, wenn infolge der intensiven, vom Druckbehälter ausgehenden Gammastrahlung das Vorhandensein von Neutronen in einer Ionisationskammer unbemerkt bleibt.

Im Zusammenhang mit der Energiemessung steht ein Instrument, das die Rate der Änderung im Kraftniveau angibt, die sogenannte Reaktorperiode. Dies ist besonders nützlich während des Anlassens, wenn es darauf ankommt, daß der Reaktor nicht zu schnell auf Hochtouren gerät. Der Periodenmesser ist so angeordnet, daß der Betriebsingenieur gewarnt wird, wenn die Rate einen gewissen vorher bestimmten Wert übersteigt. Unter den weiteren elektronischen Instrumenten befinden sich die Abstellverstärker, die die Abstellstäbe in Betrieb setzen, wenn die Kraft über ein gegebenes Maß hinausgeht, und die Überwachungsanlage für die Apparatur zur Auffindung von fehlerhaften Treibstoffelementen. Normale Monitoren stehen zur Verfügung, um die Strahlungshöhe zu messen, wo immer gerade gearbeitet wird.

Gaskreislauf und Gebläse

Das heiße Gas wird aus dem Druckbehälter in Stahlrohren von 1,35 Meter Durchmesser zu den Wärmeaustauschern geleitet. Das gekühlte, den Wärmeaustauschern entströmende Gas wird dem Reaktor in ähnlichen Röhren wieder zugeführt, in denen die Hauptzirkulatoren oder Gasgebläse angebracht sind. Der Gaskreislauf und die Gebläse wurden von *C. A. Parsons Ltd.* entworfen. Bei der Planung des ersteren konnten die Ingenieure der Firma auf ihre Erfahrung mit großen Heißgasanlagen, wie sie im Zusammenhang mit industriellen Gasturbinen üblich sind, zurückgreifen und dadurch die Probleme lösen, die durch im Gefolge von Temperatur-

schwankungen auftretende Stöße und Ausdehnungen hervorgerufen wurden.

Ein besonders wichtiger Gesichtspunkt beim Entwurf des Gebläses betraf die Methode der Geschwindigkeitskontrolle. Da die Kontrolle des Reaktors vom Gasfluß im Kern abhängt, muß man imstande sein, die Geschwindigkeit des Gebläses innerhalb eines ungewöhnlich weitgesteckten Rahmens zu verändern. Man beschloß daher, für das Gebläse einen Gleichstrommotor mit direktem Antrieb zu verwenden, der nach dem Ward-Leonard-System kontrolliert wird, und das Gebläse diesem Antrieb entsprechend zu wählen. Auch mußte dieses so entworfen werden, daß Kohlensäure aus den Gaskanälen nicht durch die Lager austreten konnte; eine Absiegelung, wie sie bei wasserstoffgekühlten Alternatoren in Gebrauch war, wurde demgemäß modifiziert.

Wärmeaustauscher

Aus dem bisher über die Probleme der Dampferzeugung Gesagten wird bereits ersichtlich geworden sein, wie wichtig für das Kraftwerk die Wärmeaustauscher sind. In diesen Apparaturen wird Gas unter einem Druck von etwa sieben Atmosphären über zwei Wasserrohrkessel geführt, von denen der eine Dampf bei Hochdruck, der andere bei Niederdruck erzeugt; jeder Kessel besteht aus drei Abteilungen, einem Vorwärmer, in dem das Wasser bis zu einem etwas unterhalb des Siedepunkts liegenden Grad erhitzt wird, einem Verdampfer (eigentlich einer Doppelabteilung), in dem das Wasser zum Kochen gebracht wird, und einem Überhitzer, in dem der Dampf des kochenden Wassers zum Zweck der Temperaturerhöhung erhitzt wird. Die Wärmeaustauscher wurden von *Babcock and Wilcox* entworfen. Jeder besteht aus einer 24 Meter langen Druckhülle aus Stahl, in der Wasserröhren reihenweise angebracht sind; heißes Gas tritt durch eine weite Öffnung am oberen Ende der Hülle ein und aus einer weiteren Öffnung unten heraus.

Es war unmöglich, fertige Kessel dieser Größe von der Fabrik des Herstellers in Renfrew nach Calder Hall zu schaffen. Daher wurden die Hüllen in zehn Sektionen gebaut, die mit Lastkraftwagen von Renfrew nach Calder Hall gebracht wurden. Kennzeichnenderweise war denn auch die Größe des Durchmessers der fertigen Hülle nicht weniger durch die engste Stelle der Straße, eine lästige Biegung im Dorf Egremont, bedingt, als durch technische Erwägungen.

Die Sektionen wurden in Renfrew mit Haupt- und Nebenmundstücken versehen und durch Erhitzen entspannt. Bei Calder Hall war eine ganze Spezial-Werkstatt errichtet, in der die Sektionen zu einem vollständigen Kessel zusammengeschweißt wurden. Nach Spannungsausgleich und Prüfung wurde der Kessel auf einem 32-rädrigen Anhänger mit niedriger Ladefläche zum Reaktor geschleppt, wo er von zwei 30 Meter hohen Winden aufgerichtet und

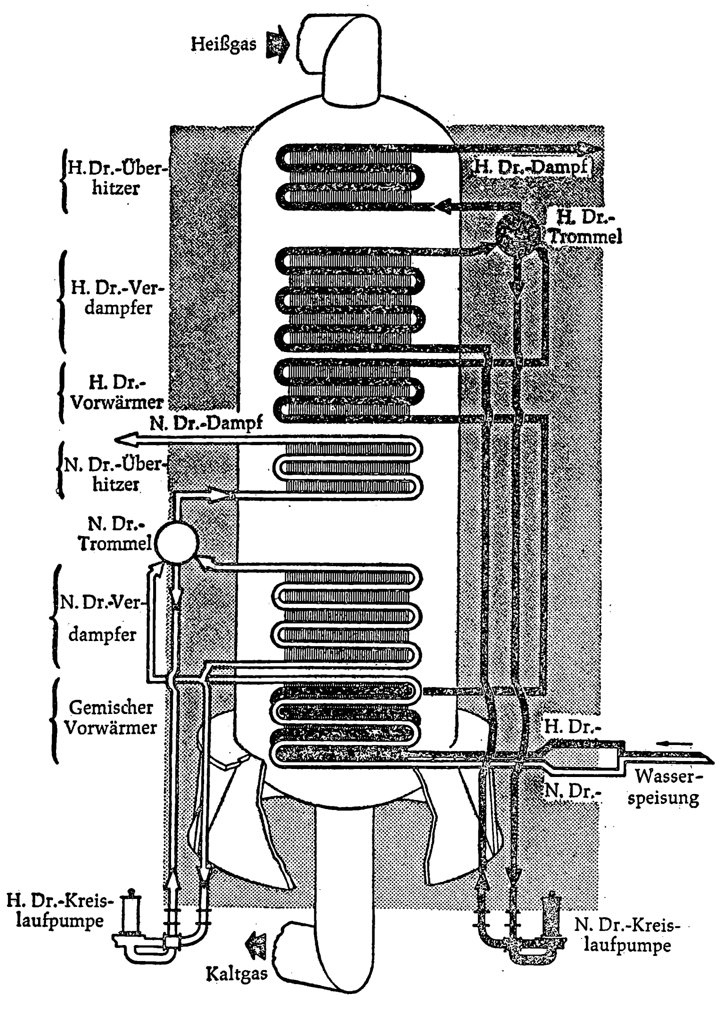


Abb. 6: Der Wärmetauscher (schematisch)
H. Dr. = Hochdruck N. Dr. = Niederdruck

auf seinen Sockel gestellt wurde. Jede leere Hülle wog 200 Tonnen, und diese Hebelasten waren die schwersten beim ganzen Bau. Die Hebetaue waren an Zapfen eines rund um den Kessel gelegten Stahlgürtels angebracht; bei der ersten Hebung sprang der Gürtel infolge eines Rechenfehlers im Entwurf, und der Kessel rutschte ein paar Zentimeter, bis sein Deckel auf dem Sockel auftraf – einer

der wenigen Unfälle, die im Laufe der Konstruktion passierten. Glücklicherweise war der Schaden nur geringfügig.

Nachdem die Druckhüllen aufgerichtet waren, wurden die Kesselrohre in ihnen angebracht. Diese waren in Einheiten hergestellt, von denen jede aus einer vertikalen Bank von horizontalen Rohren bestand; und jede Einheit war nur so groß, daß sie durch die obere Gasöffnung in die Hülle hereingelassen werden konnte. Mehrere solcher Bänke wurden nebeneinander aufgestellt und bildeten die Sektionen des Kessels. Die Bänke wurden miteinander durch Röhren verbunden, die durch die Wand der Hülle hindurchgingen und an gemeinsame Kopfröhren geschweißt waren. Auf diese Weise war es möglich, an Ort und Stelle das Schweißen auf die Außenseite der Hülle zu beschränken; die einzigen Schweißungen im Innern der Hülle wurden in den Werkstätten unter genauer Aufsicht vorgenommen. Diese Vorsichtsmaßregeln wurden getroffen, um die Entstehung von Leckstellen innerhalb der Hülle nach Möglichkeit zu verhüten.

Die Wärmeübertragung vom Gas zum Wasser wurde dadurch erleichtert, daß die Oberfläche der Wasserrohre durch Anbringung von Rippen vergrößert wurde; längs der ganzen Röhre waren vorspringende Buckel elektrisch ausgeschweißt. Diese Buckel hatten Stromlinienform, weil ein Widerstand gegen den Gasfluß vermindert werden und daher auch der Druckabfall im Wärmeaustauscher möglichst gering bleiben sollte. Jeder Wärmeaustauscher enthält Wasserrohre von über 20 Kilometer Länge und beinahe elf Millionen Buckel.

Da jede Unreinheit im Innern des Wärmeaustauschers in den Gasstrom und damit auch in den Reaktor geraten würde, mußten die Druckhülle und alle ihre Wasserrohre innen peinlich sauber sein. Beim Legen der Rohre mußte daher die gleiche Sauberkeit beobachtet werden wie beim Stapeln des Graphits.

Obwohl die Kessel so entworfen sind, daß die Gefahr eines zwischen Dampf und Gas entstandenen Lecks auf ein Minimum reduziert ist, gibt es doch gegen solche Gefahr keine absolute Sicherheit. Daher sind für den Fall eines Lecks gewisse Vorsichtsmaßnahmen getroffen. Wenn Wasser in den Gasstrom gerät, macht sich das sogleich an den Feuchtigkeitsmessern des Gaskreislaufs bemerkbar. Die Zufuhr von Gas und Dampf zu dem fehlerhaften Wärmeaustauscher wird dann abgeschnitten und das Wasser aus dem letzteren entleert; und das in der Druckhülle verbleibende Gas wird durch die fehlerhafte Röhre entweichen. Auf diese Weise kann die Röhre identifiziert und durch Anschweißen von Deckplatten an der Außenseite der Hülle aus dem Kreislauf ausgeschlossen werden. Alle diese Operationen können ohne Betreten der sauberen Hülle durchgeführt werden.

Die Turbinenhalle

Der Dampf wird von den Wärmeaustauschern zu zwei turboelektrischen Generatoren geleitet. Jede Turbine besteht eigentlich aus zwei Maschinen, einer Hochdruckstufe mit einer Niederdruckstufe gekoppelt. Im Vergleich mit Turbinen in Kraftwerken mit Kohlenfeuerung werden diese Maschinen mit Dampf von geringer Qualität gespeist — selbst auf der Hochdruckstufe beträgt der Druck nur etwa 14 Atmosphären, und die Menge des Niederdruckdampfs ist ganz ungewöhnlich groß. Die Maschinen sind daher mit großen Ausströmungsrohren versehen, und besondere Vorsichtsmaßregeln waren nötig, um den schädigenden Einfluß des feuchten Dampfes auf die Schaufeln der Niederdruckturbine zu vermindern. Die Turbo-Alternatoren sind auf Blöcken von verstärktem Beton montiert — höchst komplizierten Blöcken mit Bohrlöchern für Dampfrohre und herausspringenden Ecken zur Stützung von Hilfsmaschinen. Sie wurden in einem einzigen Guß von Beton mit Hilfe eines Spezial-Verfahrens hergestellt. Jeder der vier Alternatoren ist imstande, 23 000 Kilowatt Elektrizität zu erzeugen, so daß die Maximalleistung 92 000 Kilowatt beträgt; ein Teil davon wird zur Versorgung der Fabrik gebraucht, aber eine Nettoleistung von 60 000 Kilowatt kommt dem Netzwerk des ganzen Landes zugute.

Unter den Hilfsanlagen in der Turbinenhalle befinden sich die Kondensatoren für die Turbinenabströme, die früher beschriebenen Abscheidekondensatoren, Vorrichtungen, um Luft und mineralische Verunreinigungen aus dem Speisewasser der Kessel zu entfernen — die Entlüftungs- und Entmineralisierungswerke — und das Kohlensäurewerk. Die Kohlensäure wird als Flüssigkeit in Tanks unter Druck aufbewahrt und in dampfgeheizten Kesseln verdampft, wenn sie für den Reaktor gebraucht wird. Der Gaskreislauf enthält fast 26 Tonnen Gas.

Die Kühltürme

Merkwürdigerweise wirken in der Ferne am auffälligsten in Calder Hall gerade die am wenigsten ungewöhnlichen Teile des Werkes, nämlich die diaboloförmigen Kühltürme aus Beton, wie sie jedem vertraut sind, der eines der üblichen Kraftwerke gesehen hat. Ihre Funktion besteht in folgendem: Dampf, beispielsweise von den Turbinenabströmen, wird kondensiert, indem er über Röhren (in den Kondensatoren) geleitet wird, in denen kaltes Wasser fließt. Das Wasser wird dabei erwärmt, und damit es wieder benutzt werden kann, wird es zur Abkühlung zu den Kühltürmen befördert. Die Menge des Kühlwassers ist übrigens beträchtlich. 675 Millionen Liter zirkulieren täglich im Werk. Dabei gehen 13,5 Millionen Liter durch Verdampfung verloren und müssen durch Flußwasser ersetzt werden.

Ein Kühlturm ist nichts anderes als ein großer Schornstein über einem flachen Teich. Warmes Wasser von den Kondensatoren wird

ihm nahe seiner Basis zugeleitet und stürzt später in Form eines Sprühregens in den Teich; dabei wird es durch den Luftzug gekühlt, der durch Konvektion im Schornstein hervorgerufen wird. Die Kühltürme bei Calder Hall sind 90 Meter hoch und haben am unteren Ende 57 Meter Durchmesser. Die Hüllen sind aus verstärktem Beton, dessen Dicke zwischen 40 Zentimeter am unteren Ende und 11 Zentimeter am oberen differiert.

4. Reaktor Nr. 1 tritt in Tätigkeit

Der erste Reaktor war Mitte Mai 1956 so weit fertig, daß er nur noch mit Treibstoffelementen aufgeladen zu werden brauchte. Die ganze Anlage besteht aus zwei Reaktoren mit den dazugehörigen Wärmeaustauschern, einer Turbinenhalle und zwei Kühltürmen. Das Werk heißt Calder Hall A, und eine genaue Entsprechung, Calder Hall B, wird gerade daneben auf demselben umzäunten Gelände errichtet. Die ganze Fabrik wird also aus vier Reaktoren und ihren zugehörigen Werken bestehen. Alle diese Reaktoren haben eine doppelte Aufgabe zu erfüllen: zusammen werden sie dem Netzwerk 150 000 Kilowatt elektrischer Energie zuführen, genug für den Hausgebrauch einer Millionenstadt, und gleichzeitig Plutonium herstellen. Der Entschluß, dieses zusätzliche Paar von Reaktoren zu bauen, wurde vom Minister für Brennstoff und Energie (‹*Fuel and Power*›) am 13. Juni 1955 im Unterhaus angekündigt. Er gab auch bekannt, daß vier weitere Reaktoren derselben Art und für denselben Zweck anderswo gebaut werden würden: nämlich bei Chapel Cross, in der Nähe von Annan in Dumfriesshire; das dortige Werk wird gleichfalls eine Entsprechung von Calder Hall sein, wenn auch mit einem etwas anderen Anlageplan.

Betrieb

Die Verantwortung für das Aufladen und Anstellen des Reaktors (und natürlich für seinen weiteren Betrieb) liegt bei der Betriebsabteilung der Industriellen Gruppe. In den Frühstadien des Entwurfs wurden die Ingenieure dieser Abteilung hauptsächlich zur Beratung über Betriebsfragen herangezogen, zum Beispiel: welcher Anlageplan geeignet, welche Kontrollanordnungen am brauchbarsten, was für Instrumente beim Betrieb erforderlich waren, welche Art von Gesundheitskontrolle erwünscht. Mit dem Fortschreiten der Entwürfe und Konstruktionen spielten die Betriebsingenieure eine immer größere Rolle. Sie überwachten die Abnahme von Teilen des Werkes von den Kontrahenten und übten auch die volle technische Inspektion bei wichtigen Arbeiten aus, wie etwa beim Stapeln des Graphits. Obendrein sorgten sie dafür, daß nicht nur die Betriebsvorschriften erfüllt wurden, sondern daß auch die Techniker mit Einzelheiten der Apparatur vertraut waren, bevor sie die Verantwortung dafür übernahmen. Betriebsingenieure arbeiteten Ver-

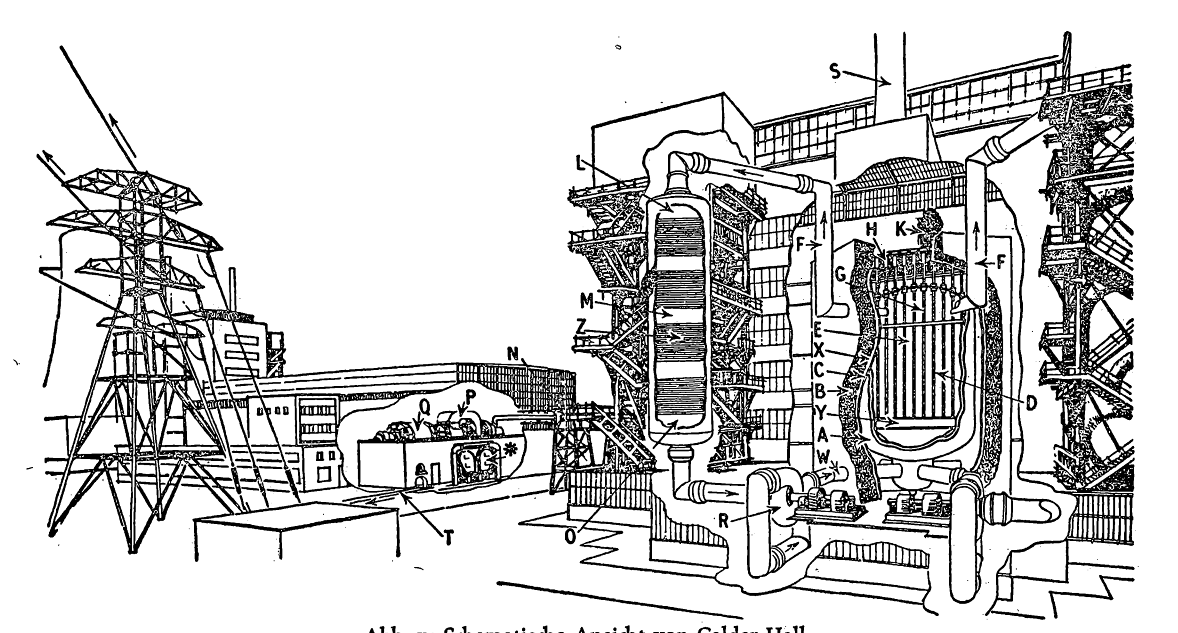


Abb. 7: Schematische Ansicht von Calder Hall

A. Druckbehälter; B. Strahlenschild (Beton); C. Thermischer Schild (Stahl); D. Urantreibstoffelemente; E. Moderatorblöcke aus Graphit; F. Heißgasauslaß; G. Kontrollstäbe; H. Laderöhren; K. Lade- und Entlademaschine; L. Heißgaseinlaß; M. Wärmetauscher; N. Dampfrohr zur Turbine; O. Kaltgasauslaß; P. Dampfturbine; Q. Alternator; R. Gasgebläse; S. Kühlluftschornstein; T. Kabelleitung zu Transformatoren; X. Kühlluftspalt; Y. Diagrid; Z. Wasserrohre; * Kondensatoren.

fahren für Betriebsaufnahme und -führung aus, und legten schriftlich detaillierte Vorschriften fest, die die Angestellten nach Übergabe der Fabrik zu befolgen hatten; wobei sie sich großenteils auf ihre Erfahrungen mit den Meilern in Windscale stützen konnten.

Die Betriebsleitung sorgt auch für die Sicherheit der Anlage, und zwar durch Ratschläge im Entwurfsstadium, durch Prüfung installierter Apparaturen, durch Festlegen von Verfahren zur Überwachung der Radioaktivität und durch Ausbildung des Personals. Die Statistik der der Atomenergie-Behörde unterstellten Fabriken zeigt, daß es in der Atomenergie-Industrie keineswegs an Sicherheit fehlt — Zeitverlust wegen Krankheit und Unfällen ist gering im Vergleich zu anderen Industrien —, und es wird alles getan, um diesen Rekord aufrechtzuerhalten, ja, zu verbessern. Wegen des Auftretens von Radioaktivität bringen in einem Werk wie Calder Hall einige der Arbeitsvorgänge gewisse Gefahren mit sich, wie man ihnen in gewöhnlichen Fabriken nicht ausgesetzt ist; aber das Wesen dieser Gefahren ist wohlbekannt, und bedenkliche Folgen können mit Hilfe eines geeigneten Warn- und Kontrollsystems verhütet werden.

Wir können nicht nachdrücklich genug betonen, daß in einem Energiereaktor eine ‹Atomexplosion› nicht erfolgen kann. Das Schlimmste, was geschehen könnte, wäre kaum bedrohlicher als mancher Unfall in vielen anderen Industrien. Und die Gefahr eines Unfalls in Calder Hall ist gering — wie gesagt, es ist ein überaus sicheres Werk.

Das Anstellen

Die Betriebsabteilung ist auch für das Aufladen und Anlassen der Reaktoren verantwortlich. Ein Kernfeuer wird nicht dadurch entfacht, daß man Brennstoff und Zündmaterial aufeinanderhäuft und mit einem Streichholz ansteckt. Wie schon im ersten Kapitel erwähnt, kann erstens einmal ein Kernfeuer nicht brennen, bevor nicht ein gewisser kritischer Minimalbetrag an Treibstoff beisammen ist — eine Kettenreaktion von Spaltungen kann nur dann erhalten bleiben, wenn die Verbindung von Treibstoff und Moderator die kritische Größe erreicht — oder überschritten — hat. Wenn solches aber erst einmal der Fall ist, dann beginnt das Feuer von selbst — durch eine hinlänglich hohe Zahl von Neutronen, in spontanen Spaltungen befreit, wird die Reaktion ausgelöst, ohne daß das Äquivalent eines Streichholzes dazu erforderlich wäre. Die kritische Größe hängt von der Neutronenwirtschaftlichkeit des Kerns und allen ihn betreffenden Faktoren ab, vor allem der Reinheit und Neutronenabsorption der Stoffe. Da einige dieser Faktoren nicht mit voller Gewißheit bekannt sind oder in ihrer Wirkung beträchtlich schwanken können, mag der berechnete Wert der kritischen Größe von dem tatsächlichen Wert gelegentlich etwas abweichen. Daher wird ein Reaktor Schub um Schub aufgeladen, bis die kritische Größe erreicht ist.

Der Reaktor Nr. 1 in Calder Hall, noch ohne Treibstoff, sonst aber

fertig, wurde am Abend des 17. Mai 1956 von der Konstruktionsabteilung der Betriebsabteilung übergeben, und man begann sofort mit dem Aufladen. Nach Prüfung der Treibstoffelemente wurden diese in die am oberen Ende des Reaktors befindliche Lademaschine gefüllt. Der Druckbehälter wurde offen gelassen, und die Elemente wurden in die Kanäle des Graphitkerns eingeführt, zunächst in die mittleren. Gleichzeitig wurde die von den energiemessenden Instrumenten des niedrigen Niveaus angezeigte Neutronendichte genau beobachtet. In den ersten Stadien wurde in beträchtlichen Mengen Uran hinzugefügt, jedesmal etwa eine Tonne. Aber als man sich der erwarteten kritischen Größe näherte, wurden die Beträge verringert, bis schließlich in den letzten Stadien die Elemente einzeln hineingeschoben wurden, wobei man die Instrumente bei jedem Element mit wachsender Spannung ablas. Die meiste Zeit über bewirkte jeder Zusatz von Uran, daß die Neutronendichte etwas anwuchs und dann konstant blieb. Aber um 7,15 Uhr am Abend des 22. Mai wurde der entscheidende Stab eingeführt, und die beobachtenden Ingenieure sahen, wie die Nadel des Periodenmessers langsam anstieg und dann stehenblieb, statt zurückzufallen: die Neutronenbevölkerung war also ständig im Wachsen begriffen. Die Kettenreaktion hatte eingesetzt — der Meiler war ‹divergent› geworden.

Nunmehr wurden die Kontrollstäbe eingeführt, und der Reaktor wurde abgestellt, obwohl seine Kraft in diesem Stadium ein Milliwatt nicht überstiegen hatte. Ein Vergleich der Gesamtladung bei Divergenz mit der berechneten Ladung zeigte, daß die kritische Größe kleiner als vorgesehen war, ein Zeichen, daß die Neutronenausnutzung des Kerns wesentlich besser war, als man beim Entwurf angenommen hatte. Dies bedeutete, daß Reserve-Reaktivität zur Verfügung stand, was bei dem späteren Betrieb von Nutzen sein konnte. Die Aufladung wurde dann fortgesetzt, bis Anfang Juni die volle Anzahl von Uranstäben sich im Kern befand. In Calder Hall beruhte der Ladungsvorgang auf dem bei den Meilern in Windscale angewendeten Verfahren, und dank der dort gesammelten Erfahrung und einer zutreffenderen Abschätzung der kritischen Masse konnte der Ladevorgang beschleunigt werden.

Das Einarbeiten

Auf die Divergenz und die Beendigung der Ladung folgte eine lange Periode des Einarbeitens. Zunächst wurden die Kontrollstäbe auf ein so genaues Maß gebracht, daß der Betriebsingenieur mit Sicherheit wußte, wieviel Reaktivität eine gegebene Bewegung der Stäbe absorbieren oder freisetzen würde. Dabei machte man sich die Tatsache zunutze, daß die Reaktivität eines Reaktors gegen Druckänderungen der Luft im Kern sehr empfindlich ist; ein Anstieg im Luftdruck führt zu einer Erhöhung in der Konzentration der neutronenabsorbierenden Stickstoffatome und daher zu einem Abfall

der Reaktivität. Die Stäbe wurden bei geschlossenem Druckbehälter folgendermaßen kalibriert: bis zum vollen Gasdruck von 7 Atmosphären, bei dem der Reaktor später arbeiten sollte, wurde Luft eingepumpt, und bei verschiedenen Zwischengraden des Drucks wurde der Einfluß der Kontrollstäbe auf die Reaktivität beobachtet. Darauf folgten Versuche mit der Ladungs- und Entladungsanlage, und dann ließ man die Energie bis zu 1000 Kilowatt ansteigen, immer noch mit nichts als Luft im Kern. Bei dieser niedrigen Energie wurde die Apparatur zur Auffindung von fehlerhaften Treibstoffelementen kalibriert, indem man kleine Stücke bloßen Urans in den Kern einführte und ihren Einfluß auf die Detektoren beobachtete.

Nach Abschluß der Versuche wurde der Druckbehälter geschlossen; aus diesem und den Gasleitungen wurde dann mit Hilfe von Vakuumpumpen die Luft entfernt, und beides wurde durch mehrmalige Anfüllung mit Kohlensäure bei Atmosphärendruck gereinigt. Darauf wurde das System mit der vollen Gasmenge geladen, und das Gebläse, die Ventile und anderen Teile des Gaskreislaufs wurden unter wechselnden Bedingungen geprüft. Hierauf wurde die Reaktorenergie im Verlauf mehrerer Wochen allmählich erhöht, und weitere Kontrollen erfolgten; das Gas wurde erhitzt, und es wurde Dampf erzeugt, bis schließlich erst die Abscheidekondensatoren und dann die Turbinen mit Frischdampf gespeist wurden. Der endgültige Schritt bei der Inbetriebnahme bestand darin, daß man die Turbinen auf Hochtouren laufen und die Alternatoren elektrische Energie erzeugen ließ, wobei die Leistung in gleichem Maße anstieg, in dem der Reaktor sich der vorgesehenen Temperatur näherte. Bei den vielen bedeutsamen Prüfungen und Messungen darf es nicht wundernehmen, daß zwischen der Divergenz und der vollen Krafterzeugung beinahe sechs Monate lagen.

Es versteht sich von selber, daß das Einarbeiten und der Betrieb viele zum Teil unerwartete Probleme auf den Plan riefen. Wir können sie hier nicht im einzelnen behandeln, aber es sei immerhin erwähnt, daß man einmal gewisse Störungen befürchtete, deren man nur mit einer eigens für diesen Fall angeschafften Apparatur hätte Herr werden können. Aber bisher hat diese noch nicht in Betrieb zu treten brauchen. Der Leser wird gesehen haben, daß es sich mit dem Laden und Entladen von Treibstoffelementen nicht viel anders verhält als mit dem Fischen in trübem Wasser: man kann das jeweils Erwünschte nicht wahrnehmen, sondern nur durch einen Apparat hindurch erfühlen. Als die Konstrukteure erwogen, welchen Schaden die Strahlung an einem Treibstoffelement anrichten könne, waren sie der Meinung, daß früher oder später einmal bei diesem Betrieb etwas schiefgehen würde — ein Greifer mochte brechen und eine Patrone fallen lassen, oder ein Zugdraht mochte reißen. Daher wurden am unteren Ende der Kanäle Stoßdämpfer angebracht und allerhand scharfsinnige Vorrichtungen zur Beseitigung von zerbrochenen Teilen eingebaut. Es wurde auch eine winzige Fernsehkamera konstruiert, mit deren Hilfe man einen Kanal in seiner ganzen Länge überblicken kann.

Schon bei den Meilern in Windscale hat das Fernsehen eine gewisse Rolle gespielt, sofern es hier nämlich zur Überwachung der Vorder- und Rückseite verwendet wurde. Auf Grund der so erhaltenen Aufschlüsse konnten trotz des hohen Grads an Radioaktivität Reparaturen ausgeführt werden. Die von den Angestellten der Fabrik dabei entwickelten Methoden hatten noch einen weiteren Einfluß auf Calder Hall. Die Betriebsingenieure waren nämlich nunmehr imstande, die Leistung der chemischen Fabrik in Windscale wesentlich zu erhöhen, in der dem bestrahlten Uran Plutonium entzogen wird. Dieser Zuwachs war so beträchtlich, daß die Fabrik außer dem Uran von Windscale auch das von Calder Hall mit bearbeiten kann und also keine weitere chemische Fabrik gebaut zu werden braucht.

5. Antworten auf Fragen der Techniker: Die Rolle der Forschung

Dank der in Harwell für die Möglichkeitsprüfung angestellten theoretischen und experimentellen Untersuchungen konnten die Schwierigkeiten der verschiedenen Probleme abgewogen und grundsätzlich Wege zu ihrer Lösung gefunden werden. Aber es ist noch ein weiter Schritt von allgemeinen Lösungen solcher Art bis zu genauen Plänen für Einzelteile oder Fabrikationsprozesse, so zum Beispiel vom Hinweis auf gewisse brauchbare Materialien für die Hülse eines Treibstoffelements bis zum Entwurf eines im Massenbetrieb herstellbaren Treibstoffelements selbst.

Daher blieben auch nach Abschluß der theoretischen Vorstudie und während des eigentlichen Baues der Fabrik noch genug Aufgaben für die Forschung. Vorläufige Ergebnisse mußten bestätigt und womöglich auf einen dem kompletten Reaktor mehr entsprechenden größeren Maßstab gebracht, Einzelheiten mußten durchdacht, Fabrikationsprozesse ausgearbeitet und überprüft werden. Einige der Arbeiten wurden in Harwell durchgeführt, aber für detaillierte Entwicklungen dieser Art ist in erster Linie die Forschungs- und Ausbildungsabteilung der Industriellen Gruppe zuständig. Diese Abteilung hat auf die im Verlauf der Planung auftauchenden Fragen nach Möglichkeit eine Antwort zu finden, und ihre Arbeit ist nicht weniger streng an Termine gebunden als die des Konstruktionsbüros. Die Konstrukteure entledigen sich ihrer Aufträge in der Gewißheit, daß die Antwort auf ihre Fragen nicht auf sich warten lassen wird; und während Bauunternehmer bereits Löcher graben und Gebäude errichten, sind die Einrichtungen, die in diesen Gebäuden untergebracht werden sollen, noch Gegenstand der Nachprüfung in der Forschungs- und Ausbildungsabteilung. Es gibt wohl nur wenige Organisationen, bei denen die Konstruktion der Ausarbeitung so dicht auf den Fersen bleibt wie in Risley.

Die meiste Arbeit erforderte die Entwicklung des Treibstoffelements. Beinahe 6 Millionen DM wurden darauf verwendet, einen Entwurf und eine Produktionsmethode für das Treibstoffelement festzulegen. Wie immer bei Arbeiten dieser Art war die Zeit knapp. Ein Lager von mehreren tausend Treibstoffelementen mußte zur Verfügung stehen, sobald der Reaktor ladefertig war; die Herstellung dauerte etwa sechs Monate, und vor Beginn der eigentlichen Herstellung brauchten die Betriebsleute mehrere Monate, um die Produktionsmethode zu vervollkommnen, deren Entwurf mindestens weitere sechs Monate erforderte; und darum mußten die hierfür nötigen Angaben schon zur Hand sein, wenn der Reaktorplan in den Grundzügen feststand.

Auf Grund der vorbereitenden Studie empfahl sich ein Treibstoffelement, bestehend aus einem 1,20 Meter langen Uranstab mit einem Durchmesser von etwa 2,5 Zentimeter, der von einer Hülse aus einer neuartigen Magnesiumlegierung umschlossen war. Diese sollte mit einer bestimmten Art von Rippen versehen werden. Es mußte nun bestätigt werden, daß die vorgeschlagenen Stoffe unter allen im Betrieb vermutlich eintretenden Verhältnissen mit der Kohlensäure als Kühlmittel verträglich, daß die Wärmeübertragungseigenschaften zufriedenstellend und daß die Patronen nach den Spezifikationen massenmäßig herzustellen waren; weiter mußten Fabrikationsmethoden für die Uranstäbe festgelegt, und es mußte bewiesen werden, daß die Stäbe im Betrieb sich bewährten und sich unter dem Einfluß von Wärme oder Strahlung nicht verzerrten.

Die ursprünglichen Versuche in Harwell hatten gezeigt, daß von der Reihe der entwickelten Magnesiumlegierungen die als Magnox E bezeichnete gegen Korrosion im allgemeinen am widerstandsfähigsten war; Magnox E war daher für PIPPA empfohlen worden. Als es jedoch zur Herstellung der Hülse kam, stellte sich heraus, daß das Material nicht leicht schweißbar, daß aber ein anderer Stoff der Reihe, Magnox C, besser geeignet und gegen Korrosion und Oxydation unter den veränderten PIPPA-Verhältnissen nicht weniger widerstandsfähig war als Magnox E. Andererseits war Magnox C nicht so gründlich geprüft worden wie Magnox E; die Forschungs- und Ausbildungsabteilung hatte daher sein Verhalten unter den denkbar verschiedensten Bedingungen zu untersuchen. Diese Untersuchungen zeigten unter anderem, daß die Legierung keinerlei Spuren verunreinigender Metalle aufweisen darf, sollen bei hohen Temperaturen keine schnellen und zum Versagen führenden Reaktionen auftreten. Ein zufälliger Beweis für die Wirkung selbst einer kleinen Verunreinigung ergab sich, als einige Hülsen in Kohlensäure erhitzt wurden; mehrere Versuche waren ohne besondere Vorfälle verlaufen, als plötzlich von den vier Hülsen drei versagten: ein Teil der Hülse schmolz bei viel niedrigeren Temperaturen, als vorangehende Versuche hatten erwarten lassen. Schließlich fand man heraus, daß die Uranstäbe in diesen Patronen mit einem Bleihammer und nicht

mit einem Hartgummihammer gerade gerichtet worden und daß winzige Bleikrümel an dem Uran hängengeblieben waren. Dieses Blei bildete mit dem Magnox eine Legierung, die bei einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur schmolz und dabei ein Loch in der Hülse verursachte.

Diese Entdeckung bewies, daß es nötig war, alle möglichen Urheber von Verunreinigung zu prüfen, die im Laufe der Herstellung aufgelesen werden mochten, und man begann mit einer langen Reihe von Versuchen. Kupfer, Aluminium, Blei und viele andere gewöhnliche Metalle erwiesen sich als ähnlich störend, aber glücklicherweise war Eisen mit Magnox verträglich. Diese Ergebnisse machten beträchtliche Änderungen in den Plänen für die Hülsenfabrikation und in der Fabrikaufsicht erforderlich — es mußte verhütet werden, daß die fertigen Patronen im Betrieb versagten. Zahlreiche sonst verwendeten Metalle mußten vom Fabrikgebrauch ausgeschlossen werden, was wiederum nicht ohne Einfluß auf gewisse untergeordnete Arbeitsvorgänge blieb. Zum Beispiel durften die Elektriker Drähte nicht in der üblichen Weise löten, weil mit den kupfernen Lötkolben und der Blei-Zinn-Legierung der Lötmasse verbotene Metalle in die Werkstatt gelangt wären.

Dieses Beispiel veranschaulicht die Art von Problemen, die der Entwicklungsfachmann zu lösen hat; er hat sein Augenmerk nicht nur auf die Hauptstoffe und -prozeduren zu richten, sondern auch auf eine Unzahl von Nebenfragen, die nur ganz entfernt mit dem Bau der Maschinerie oder der Routine der Betriebsführung zu tun haben. So kann zum Beispiel die Temperatur in einer Fabrik für Magnoxhülsen nicht mit einem gewöhnlichen Quecksilberthermometer gemessen werden, weil im Falle seines Zerspringens Quecksilber eine besonders unerwünschte Verunreinigung hervorruft.

Auch sonst waren noch kleinere Verbesserungen an der Legierung erforderlich, und die damit zusammenhängenden Versuche dauerten immer lange, weil bei jeder Änderung Proben der neuen Legierung in Beträgen von einer halben Tonne hergestellt werden mußten. Sobald aber die Zusammensetzung der Legierung festgelegt war, mußte eine Methode gefunden werden, Barren dieser Legierung in hoher Qualität und der erforderlichen Reinheit fabrikmäßig herzustellen. Die Qualität der Barren setzte Vorsicht beim Gießen und Kontrolle der Korngröße voraus; die Reinheit aber machte äußerste Sauberkeit bei allen Haupt- und Nebenarbeiten zum Gebot. Zu diesem Zweck wurden von den Fabrikanten in Zusammenarbeit mit der Forschungs- und Entwicklungsabteilung besondere Herstellungsmethoden entwickelt.

Das nächste Problem bestand in der Herstellung von gerippten Hülsen der erforderlichen Größe. Die Ausmessungen mußten in engen Grenzen gehalten werden, und die Oberfläche mußte denkbar glatt und sauber sein. Wiederum mußten die Fabrikanten zahlreiche weitere Versuche anstellen, wobei die Forschungs- und Entwicklungsabteilung sie beriet. Diese Arbeiten sind noch keineswegs abgeschlossen, da die zur Zeit angewandte Methode, nämlich Bearbeitung von

massiven Blöcken, teuer ist und eine billigere und sparsamere Methode erst noch gefunden werden muß.

Im Reaktor liegen die Treibstoffelemente in den vertikalen Kanälen dicht übereinander, wobei die Ausrichtung durch kegelförmige, an beiden Enden des Elements angebrachte Gelenke bewirkt wird. Es leuchtet ein, daß die Treibstoffelemente möglichst gerade sein müssen, bevor sie in den Reaktor eingelassen werden, und sie dürfen auch während des Betriebs, trotz des erheblichen Drucks, der infolge der vertikalen Stapelung auf die tieferliegenden ausgeübt wird, so wenig wie möglich verbogen werden, da sie sonst in den Kanälen klemmen und die Entladung erschweren könnten. Zum Schutz gegen Verbiegung wurde das Treibstoffelement von der ursprünglich vorgeschlagenen Länge von 1,20 Meter auf einen Meter verkürzt. Bei noch weiterer Verkürzung hätten auf jeden Kanal so viele Elemente entfallen müssen, daß das Laden und Entladen eine ungebührlich lange Zeit erfordert hätte und außerdem ein Verlust an Reaktivität eingetreten wäre.

Weiter bemühte man sich, metallurgische Methoden zur Verstärkung der Uranstäbe und zur Verminderung der Betriebseinflüsse zu finden. Der Mechanismus des Durchbiegens unter Erwärmung, Abkühlung und Neutronbestrahlung gleicht dem, der die Faltungen an der Oberfläche eines Uranstabes hervorruft. Da Untersuchungen in Harwell während der vorbereitenden Studie gezeigt hatten, daß Faltungen sich verhüten lassen, wenn das Uranmetall keine großen Körner enthält, mußte eine industrielle Methode zur Herstellung von feinkörnigem Uran gefunden werden. Die Forschungs- und Entwicklungsabteilung empfahl schließlich, die Uranstäbe durch eine Hochfrequenz-Heizspule hindurch in einen Spritzkühler zu manövrieren. Die Methode bewährte sich durchaus, aber bei den Experimenten traten doch auch einige der Schwierigkeiten zutage, von denen Arbeiten dieser Art betroffen werden. Die Entwicklung und Herstellung der erforderlichen speziellen Hochfrequenz-Generatoren und Öfen ist ein langwieriger Prozeß, und daher mußte diese teure Apparatur für den besonderen Produktionsbereich bestellt werden, ehe noch die Experimente abgeschlossen und die Vorzüge der erwähnten Behandlung erwiesen waren. Was jedoch ursprünglich gläubige Annahme war, wurde durch die weiteren Ereignisse gerechtfertigt: die Behandlung ergibt tatsächlich das gewünschte feine Korn, und die Stäbe bleiben hinlänglich gerade.

Sobald nun ein brauchbarer Uranstab und eine brauchbare Hülse hergestellt waren, mußte dafür Sorge getragen werden, daß die Hülse für die Dauer ihrer Betriebsfähigkeit wirklich mit dem Stab zusammenpaßte. Eine hierbei auftretende Schwierigkeit erklärt sich aus der Tatsache, daß Magnesium bei Erwärmung sich doppelt so stark ausdehnt — und bei Abkühlung zusammenzieht — wie Uran. Wenn daher das Treibstoffelement erhitzt wird, verlängert die Hülse sich in höherem Grade als das Uran, und bei der Abkühlung sinkt sie darauf zusammen: ein kleiner Teil der Hülse bleibt sozusagen ohne Uran zurück. Bei mehrmaliger Wiederholung der Erwärmungs- und

Abkühlungsprozedur kann die Hülse schließlich gänzlich unbrauchbar werden. Eine Methode, diese Schwierigkeit zu bewältigen, war in Harwell während der Möglichkeitsprüfung entwickelt worden, aber wiederum blieb der Forschungs- und Entwicklungsabteilung noch eine beträchtliche Menge Arbeit zu tun, um einen befriedigenden Fabrikationsprozeß festzulegen.

Endlich mußte auch ein Prüfungs- und Aufsichtssystem ausgearbeitet werden. Die Kontrolle der Ausmaße der Hülse war einfach, aber es war ziemlich schwierig, eine geeignete Methode zu finden, um festzustellen, daß die Hülsen keine Leckstellen hatten, namentlich an den Schweißnähten. Mit Rücksicht auf künftige Entwürfe wurde die gesamte Herstellungsgeschichte, einschließlich der Prüfungsbefunde, für jedes der Zehntausende von Treibstoffelementen der Reaktoren auf Lochkarten verzeichnet, so daß die einzelnen Herstellungsvorgänge in statistischer Hinsicht sich völlig mühelos auswerten lassen.

Während die Fabrik für die Hülsenerzeugung noch im Bau war, begann die Forschungs- und Entwicklungsabteilung zur Prüfung des Verfahrens bereits in kleinerem Maßstab mit der Herstellung von Versuchspatronen — etwa hundert, und dieses scheinbar kostspielige Verfahren hat sich schon dadurch bezahlt gemacht, daß es die Produktion in Gang brachte.

Die Verträglichkeit des Kühlmittels

Wie wir im zweiten Kapitel gesehen haben, wurden im Laufe der Möglichkeitsprüfung in Harwell eine Reihe von entscheidenden Messungen über die Wechselreaktion zwischen Graphit und Kohlensäure vorgenommen. Die Ergebnisse stimmten zuversichtlich im Hinblick auf die Wahl des Gases, aber es blieb noch eine Reihe ungelöster Fragen, und man hielt es für nötig, noch weitere Beobachtungen im Maßstab der später im Reaktor selbst vorwaltenden Bedingungen anzustellen. Man beschloß daher, in dem Versuchsmeiler BEPO in Harwell in voller Größe das Modell eines der Kanäle für den Reaktor von Calder Hall zu errichten.

Der Kanal bestand aus einer 15 m langen Röhre aus rostfreiem Stahl, die mitten durch den Kern von BEPO horizontal hindurchlief. In dieser Röhre wurden Graphitröhren so aneinandergefügt, daß sie einen kontinuierlichen Kanal des erforderlichen Durchmessers bildeten; durch die mittlere Öffnung wurden Uranspaltpatronen eingeführt. Dann wurde, mit Hilfe eines Gebläses, im Kanal Kohlensäure in Umlauf gesetzt, die außerhalb des Reaktors einen Filter, ein Meßinstrument und eine Heizanlage passierte. Durch geeignete Regulierung der Gebläsegeschwindigkeit und Heizung konnten Druck und Temperatur des Gases den im Reaktor von Calder Hall erwarteten Werten angeglichen werden. Dank der Vorrichtungen zur Analyse des Gases ließen sich die Rate der Bildung von Kohlenmonoxyd und seine Gleichgewichtskonzentration feststellen. Es war

auch möglich, von Zeit zu Zeit Graphitproben zu entnehmen und auf etwaige Gewichtsveränderungen zu untersuchen. Auf der Ausströmseite des Gases wurden Stahlproben angebracht, um die Einwirkungen des Gases auf den für den Druckbehälter bestimmten Stahl zu beobachten.

Diese komplizierte Anordnung, eine sogenannte Meilerschlaufe, ist kennzeichnend für die Art von Experimenten, wie sie unternommen werden müssen, wenn Aufschluß über das Verhalten eines Systems oder eines Stoffes unter Strahlung benötigt wird. Die neue Schlaufe insbesondere entsprach im wesentlichen den Bedingungen, unter denen der Reaktor von Calder Hall arbeiten sollte — mit einer wichtigen Ausnahme: der in BEPO verfügbare Neutronenfluß war beträchtlich kleiner. Da Strahlungswirkungen im allgemeinen dem gesamten Neutronenbestand proportional sind, macht eine Herabsetzung des Neutronenflusses eine längere Bestrahlung erforderlich, weshalb auch die Experimente in BEPO so zeitraubend waren. Der neue, kürzlich in Harwell in Betrieb genommene Reaktor DIDO jedoch hat einen sehr viel höheren Fluß als BEPO, womit sich die Dauer von einigen dieser lebenswichtigen Experimente erheblich verkürzt.

Die PIPPA-Schlaufe in BEPO brachte endlich den dringend benötigten Aufschluß über die Reaktion zwischen Graphit und Kohlensäure. Die lange Reihe der Experimente wird noch fortgesetzt, um die Ergebnisse auch Bedingungen anzupassen, wie sie in künftigen gasgekühlten Reaktoren zu erwarten sind.

Wärmeübertragung

Während der vorbereitenden Studie hatten gewisse, die Wärmeübertragung einer ringsherum gerippten Hülse betreffende Versuche die generelle Brauchbarkeit dieses Typs für den krafterzeugenden Reaktor erwiesen. Dabei war aber das Kühlmittel Luft bei Atmosphärendruck gewesen. Im Reaktor von Calder Hall waren beträchtlich davon abweichende Bedingungen zu erwarten: eine andere Dichte, der Druck siebenmal so groß und auch der Massenfluß (die während einer Zeiteinheit durch den Kanal gepumpte Gasmenge) höher. Demgemäß mußte auch das Gas bei seinem Fluß durch die Kanäle eine andere Turbulenz haben, was wiederum die Wärmeübertragung und den Widerstand beeinflussen mußte. Da obendrein durch den größeren Massenfluß den Rippen schneller Wärme entzogen wurde, kam es um so mehr auf die Wärmeleitfähigkeit der Rippen an: bewegte sich die Wärme nur langsam an den Rippen entlang, konnte sie die Spitzen nicht mehr erreichen, und ein Teil der Rippen war überflüssig. Man hatte daher die Eigenschaften von Rippen, die aus Metallen mit anderen Wärmeleitfähigkeiten verfertigt waren, zu studieren. Wären andererseits die Hülsen nicht gerippt, sondern einfach gewöhnliche Zylinder gewesen, hätte man ihr Verhalten unter den veränderten Bedingungen berechnen können, aber das Verhalten von

gerippten Oberflächen ist dafür zu kompliziert. Weitere Komplikationen ergaben sich aus der Art, wie die Patronen in ihren vertikalen Kanälen gestützt waren.

Daher mußte eine Reihe von Experimenten unter Bedingungen wie den beim Reaktor zu erwartenden unternommen werden. Zu diesem Zweck wurde ein vertikaler Kanal der gleichen Größe gebaut, durch den Kohlensäure unter dem gleichen Druck wie in PIPPA geblasen werden konnte. Man führte Modelle von Treibstoffelementen in den Kanal ein und maß dann ihren Wärmeverlust unter verschiedenen Bedingungen. Man brauchte jedoch diese Schlaufe im Meiler von Harwell nicht zu errichten, da die Wärmeübertragung durch Strahlung nicht beeinflußt wird.

Kernberechnungen und Experimente

Die Entwicklung der Treibstoffelemente erforderte hauptsächlich metallurgische, chemische und technische Experimente. Eine andere Gruppe von Berechnungen und Experimenten betraf die Kernphysik des Reaktors. Für die Zwecke der vorbereitenden Studie war die kritische Größe des Meilerkerns auf Grund gewisser Annahmen hinsichtlich Gitterentfernung, Stabdurchmesser und Neutronenabsorption in Graphit, Uran und Magnesium berechnet worden. Doch waren viele dieser angenommenen Werte ungewiß, so daß die Berechnungen notwendigerweise nur Annäherungen darstellten. Für den eigentlichen Entwurf wurde eine ausführlichere und verfeinerte Reihe von Berechnungen gebraucht.

Diese neuen Berechnungen wurden von der Forschungs- und Entwicklungsabteilung in zwei Etappen durchgeführt. In der ersten kam es darauf an, den Näherungswert des bestmöglichen Kerns zu bestimmen, und zwar durch Ermittlung der Konzentration der spaltbaren Uranatome im Treibstoffmetall, das heißt, in der Urananreicherung. Die Physiker setzten gewisse Grenzwerte für die Gitteranordnung und Stabdurchmesser fest und errechneten für die verschiedenen Grade der Zwischenskala die für die gewünschte Reaktivität im Kern erforderliche Urananreicherung; und die Ergebnisse gestatteten es, ein Gitter und eine Stabgröße zu wählen, die bei der geringsten Anreicherung, d. h. bei natürlichem Uran, die größte Reaktivität ergaben. Nunmehr konnte man endgültige Kernberechnungen vornehmen, um den detaillierten Entwurf der Graphitstruktur, einschließlich der verschiedenen aus Strukturgründen zwischen den Blöcken belassenen Löcher und Rillen, auszuwerten und um die Reaktivität abzuschätzen, die bei den verschiedenen Betriebsbedingungen, wie etwa bei hohen Temperaturen, zur Verfügung stehen würde. Diese Berechnungen schlossen auch die Vergiftungserscheinungen ein, bedingt durch Neutronenabsorption in Spaltungsprodukten, die — im radioaktiven Sinn — auch bei abgestelltem Reaktor häufiger werden. Wenn diese Gifte einmal entstanden sind, dann zerfallen sie durch Umwandlung in andere Elemente mit ge-

ringerer Neutronenabsorption. Ihre Wirkung ist also nicht permanent, sondern es gibt nach dem Abstellen des Reaktors eine Zeitspanne von ein paar Stunden, während deren erheblich mehr Reaktivität (d. h. Neutronenreserve) zum Wiederanstellen erforderlich ist als während des Betriebs oder nach einer kurzen Zeit des Stillstands. Die Stärke dieser Giftwirkung hat man zu kennen, um einen Kern mit ausreichendem Reaktivitätsüberschuß entwerfen zu können, damit der Reaktor nach dem Abstellen sich schnell wieder in Gang bringen läßt.

Auch die Wirkung der Kontrollstäbe hatte man zu errechnen, wollte man sicher sein, daß sie unter allen Umständen die gesamte Reaktivität würden absorbieren können. Diese Berechnungen wurden dadurch erschwert, daß die Stäbe insofern asymmetrisch angeordnet sind, als sie alle von einem Ende her in den Kern eintreten; und zur Behebung dieser Schwierigkeiten wurden einige wirksame mathematische Kunstgriffe ersonnen. Zunächst freilich ergab sich ein im wesentlichen statisches Bild von der Leistung der Kontrollstäbe, nämlich eine Kalibrationskurve, die die Reaktivität bei ausgewählten Lagen der Stäbe anzeigte. Es war wünschenswert, dieses Bild durch eine mehr dynamische Abschätzung zu ergänzen, und zu diesem Zweck wurde eine in Harwell gebaute elektronische Rechenmaschine — ein sogenanntes Elektronen-Gehirn — verwendet, die die Leistung bei gegebenen Betriebsbedingungen kontinuierlich zu berechnen hatte.

Trotz aller mathematischen Geschicklichkeit waren die Ergebnisse dieser Berechnungen immer noch unsicher, weil die Daten, auf denen sie beruhten, nicht immer genau bekannt waren, namentlich die ausschlaggebenden neutronenabsorbierenden Fähigkeiten der verwendeten Stoffe. In diesen Ungewißheiten spiegeln sich die Schwierigkeiten genauer Messungen auf dem Gebiet der Kernphysik wider, Schwierigkeiten, die teilweise mit der Meßtechnik zusammenhängen und teilweise bei der Zubereitung von isotopisch reinen Proben entstehen.

Die auf den Eigenschaften der einzelnen Stoffe im Reaktorkern beruhenden Berechnungen mußten daher durch ein Experiment ergänzt werden, bei dem sich das Zusammenspiel sämtlicher Teile beobachten ließ, ein integrierendes Experiment. Das nächstliegende integrierende Experiment hätte darin bestanden, ohne weiteres den vorgeschlagenen Reaktor zu bauen und dann abzuwarten, wie er arbeitete — aber das kam selbstverständlich nicht in Frage. Statt dessen wurde ein sogenanntes exponentielles oder subkritisches Experiment gemacht. Aus Graphitziegeln wurde in der für den Reaktor vorgeschlagenen Anordnung ein Meilerwürfel von 3 m Seitenlänge — mit Kanälen und anderen Leerstellen — gebaut und mit Uranpatronen geladen. Dieser Meiler ist für eine selbsterhaltende Kettenreaktion viel zu klein. So wurden Neutronenquellen darunter angebracht, in welchem Falle einige der Neutronen Spaltungen in seinem Innern hervorrufen, so daß es bis zu einem gewissen Grade auch zu ihrer Vermehrung kommt, die aber nicht groß genug ist, um

eine Kettenreaktion auszulösen. Statt dessen fällt die Neutronendichte exponentiell nach den Rändern des Meilers hin ab, aber innerhalb des Meilers sind die Neutronen so verteilt, wie es bei einem Reaktor der vollen Größe der Fall sein würde, und durch Messungen der Neutronenbevölkerung an verschiedenen Stellen des Meilers kann das Verhalten des Reaktors ziemlich genau vorausgesagt werden.

Diese für Calder Hall bestimmten Experimente wurden in Harwell an einem exponentiellen Meiler vorgenommen, der so eingerichtet war, daß Messungen bei verschiedenen Gitteranordnungen, Kanaldurchmessern und Urananreicherungen gemacht werden konnten. Die Resultate gaben den Konstrukteuren die endgültige Gewißheit, daß ihr fertiger Reaktor mit Natururan arbeiten würde. In der Tat war, wie wir gesehen haben, sogar noch ein gewisser Überschuß an Reaktivität vorhanden.

6. Kernkraft: Die Zukunft

Es darf kaum wundernehmen, daß die in Calder Hall erzeugte Elektrizität teurer ist als Elektrizität, die in einer modern eingerichteten Station mit Kohlenfeuerung erzeugt wird. Calder Hall ist ein Versuchs- und Musterwerk, allein aus diesem Grunde schon sind die Baukosten hoch, und daher muß beim Preis für die Elektrizität die Amortisation des Kapitals mit in Anschlag gebracht werden. Außerdem hat das Werk einem doppelten Zwecke zu dienen, nämlich sowohl Plutonium für militärische Zwecke als auch Elektrizität zu erzeugen. Aus schon angegebenen Gründen kann es daher als Kraftwerk nicht ganz so leistungsfähig sein, wie es andernfalls möglich wäre. Man ist jedoch fest überzeugt, daß bei gasgekühlten Reaktoren, die hauptsächlich zur Krafterzeugung gebaut sind und einige schon jetzt als praktisch durchführbar erkannte Verbesserungen aufweisen, die Elektrizitätserzeugung nicht mehr kosten wird als 3 Pfennig pro Kilowattstunde. Dabei ist bereits das erzeugte Plutonium mit berücksichtigt, sofern auf der Kreditseite eine annehmbare, aber vorsichtige Schätzung seines Wertes als der eines Treibstoffs für industrielle Reaktoren angesetzt ist. Mit weiteren Verbesserungen, die sich zweifellos als praktisch durchführbar erweisen werden, dürfte der Preis noch weiter heruntergehen.

Verbesserungen an gasgekühlten Reaktoren

Die Reaktoren in Calder Hall sind, wohl ein wenig geringschätzig, mit dem Ford-Auto Modell T und der Kolbendampfmaschine verglichen worden; wobei nur zu bedenken wäre, daß beide große technische Leistungen darstellten, die einen fortwirkenden Einfluß auf die industrielle Entwicklung ausübten. In ähnlicher Weise werden sicherlich auch gasgekühlte Reaktoren der Entwicklung ihren Stempel aufdrücken. Da sie ohne Frage eine große Zukunft vor sich ha-

ben, verlohnt es sich wohl, die Möglichkeiten ihrer Vervollkommnung kurz zu erörtern.

Wie aus den vorangehenden Kapiteln ersichtlich geworden sein wird, beruhte der Entwurf der Reaktoren von Calder Hall vielfach auf Extrapolationen, die auf Grund bewährter technischer Praxis vorgenommen wurden, — oft wohl auf allzu vorsichtige Weise, weil die Konstrukteure sich verpflichtet glaubten, im Hinblick auf einen erfolgreichen Betrieb des Werkes und im besonderen auf die Möglichkeit von Unfällen jedes Risiko vermeiden zu müssen. Die Erfahrung hat inzwischen gezeigt, wo diese Vorsicht übertrieben war, und wo es möglich ist, die Leistung zu verbessern und gleichzeitig die Kosten herabzusetzen.

So ließen sich die Kosten pro Kilowattstunde ausgesandter Elektrizität vermindern, wenn bei proportional geringerer Erhöhung in den Kosten der Anlage die gesamte im Reaktor erzeugte Wärme erhöht werden könnte — was sich z. B. durch Vergrößerung des Kerns bewerkstelligen ließe, auch wenn in diesem Falle ein größerer Druckbehälter erforderlich wäre. In Calder Hall war die Größe des Druckbehälters durch die Dicke der Stahlplatten festgelegt, die an Ort und Stelle geschweißt werden konnten. Auf Grund der jetzt vorliegenden Erfahrung sind die Konstrukteure jedoch überzeugt, daß beträchtlich dickere Platten verwendet werden können, vielleicht sogar bis zu 8 cm dickere, und daß daher dem Bau größerer Druckbehälter sehr bald nichts mehr im Wege stehen wird. Sonst könnte umgekehrt wohl auch in einem Druckbehälter derselben Größe ein höherer Gasdruck zur Anwendung gelangen.

Auch von einer Verbesserung der thermischen Eigenschaften des Reaktors könnte man sich einiges versprechen, namentlich von der Erhöhung der Wärmerate (d. h. der erzeugten Wärmemenge pro Masseneinheit des Treibstoffs im Kern) und der Temperatur, bei der dem Reaktor Wärme entzogen wird. Eine solche Erhöhung der Wärmerate wäre denkbar, wenn, auf seiten des Treibstoffelements, verbesserte Bedingungen für die Wärmeübertragung erzielt werden könnten, etwa durch Anbringung von wirksameren Rippen oder sogar durch Verwendung von radikal verschiedenen Treibstoffelementen, vielleicht von Röhren oder flachen Platten an Stelle der massiven Stäbe. Freilich ist im Hinblick auf die Wärmeübertragungseigenschaften anderer Rippen noch ein beträchtliches Maß an Forschungsarbeit und in bezug auf die kernphysikalischen Eigenschaften verschieden geformter Treibstoffelemente eine sehr viel genauere Schätzung erforderlich. Durch Erhöhung des Gasdrucks bei gegebener Gebläsekraft könnte mehr Wärme gewonnen werden (wie man umgekehrt bei gegebener Wärmeleistung mit einer geringeren Gebläsekraft auskommen würde), was aber einen dickeren Druckbehälter voraussetzt. Möglicherweise könnte auch ein Gas mit besseren Wärmeübertragungseigenschaften verwendet werden, als sie Kohlensäure besitzt.

Auch eine Erhöhung der Betriebstemperatur würde sich in vieler Hinsicht bezahlt machen. Sie würde nicht nur eine Leistungsstei-

gerung der Dampfanlage, sondern auch eine Herabsetzung der Größe der Turbinen und ihres Zubehörs ermöglichen. Die hohen Kapitalkosten von Calder Hall beruhen teilweise darauf, daß hier ein Dampf von verhältnismäßig geringer Qualität große Turbinen erfordert — groß im Vergleich zu denen moderner Durchschnitts-Kraftwerke. Nur würde freilich eine Druckerhöhung eine Reihe von neuen Problemen mit sich bringen. Der Druckbehälter müßte bei höherer Temperatur arbeiten, was die Verwendung von ermüdungswiderständigen, schwer zu schweißenden Stahlsorten voraussetzt. Vor allem aber hat jede Erhöhung der Temperatur auch eine Änderung in den Hülsen der Treibstoffelemente zur Folge. Bessere Magnesiumlegierungen mögen gefunden werden, aber bei einer wirklich eingreifenden Temperaturerhöhung müßten andere Metalle verwendet werden, etwa Zirkon oder Beryllium.

Es gibt also zahlreiche Möglichkeiten, die Leistung gasgekühlter Reaktoren zu steigern. Selbst bei Unterlassung der radikaleren Eingriffe und Vornahme nur der unmittelbar durchführbaren Abänderungen könnte die elektrische Leistung wahrscheinlich auf das Drei- bis Vierfache erhöht werden, ohne daß die Baukosten um mehr als 10—15 Prozent steigen. Und im Falle weiterer Entwicklungen wären noch höhere Leistungen bei noch niedrigeren Kosten denkbar. Wie sich früher die Kolbendampfmaschine im Lauf der Jahre verbessern ließ, so wird vermutlich auch der gasgekühlte Meiler ‹Stromlinienform› erhalten und daher sparsamer arbeiten können, und er wird uns sicherlich ungemein wertvolle Dienste leisten, zum mindesten für eine Zeitspanne, die in dem verkürzten Maßstab unseres schnellebigen Zeitalters etwa der der zweihundertjährigen Herrschaft der Dampfmaschine entspricht. Auf jeden Fall hat man heute schon zum gasgekühlten Reaktor Vertrauen genug, um das erste Stadium des Zehnjahresplanes für Kernkraft in Großbritannien auf ihn abzustellen.

Der Zehnjahresplan für Kernenergie

Dieser Plan wurde im Februar 1955 in einem Weißbuch angekündigt. Er erstreckt sich auf die zwischen 1955 und 1965 liegenden Jahre, und man erwartet, daß am Ende dieser Periode die Kernkraft dem Netz 1,5 bis 2 Millionen Kilowatt Elektrizität zuführen und damit jährlich 5 bis 6 Millionen Tonnen Kohle durch ein paar hundert Tonnen Uran ersetzen wird. Die Kosten des Plans werden auf DM 3500 Millionen veranschlagt; wobei die zusätzlichen Kosten für Hilfsanlagen, darunter die Anlagen zur Herstellung der Treibstoffelemente und zur Bearbeitung des verbrauchten Treibstoffs, miteingerechnet sind. Was die Folgezeit betrifft, so begnügt sich das Weißbuch mit gewissen Andeutungen hinsichtlich der möglichen Weiterentwicklung der Kernkraft — die technischen Ungewißheiten sind für positivere Angaben noch zu beträchtlich —, aber wenn alles erwartungsgemäß verläuft, besteht die Hoffnung, daß bis 1975 die Kernkraft

eine Gesamtkapazität von 10 bis 15 Millionen Kilowatt erzeugen – und 40 Millionen Tonnen Kohle pro Jahr ersetzen – wird, und daß dann Kernkraftwerke auch die volle zusätzliche Kapazität, die auf jährlich 3 Millionen Kilowatt geschätzt wird, werden bestreiten können. Dabei sind die Stationen von Calder Hall und Chapel Cross als Kraftwerke nicht mit in diesen Plan einbezogen, und ihre elektrische Leistung ist deshalb bei den oben angegebenen Zahlen nicht mit berücksichtigt.

Der Zehnjahresplan sieht den Bau von zwölf Kernkraftwerken vor. Die ersten drei Stationen, deren Errichtung die erste Phase des Planes gilt, werden je zwei gasgekühlte Reaktoren haben, im Prinzip denen von Calder Hall entsprechend, aber nach der eben skizzierten Richtung hin soweit verbessert, daß ihre elektrische Leistung um ein Vielfaches so groß sein wird. Was die zweite Phase des Planes betrifft, so erwartet man, daß dann höher belastete Reaktoren ausgebildet sein werden, von denen jede Station nur einen benötigen wird. Diese Reaktoren werden wahrscheinlich flüssigkeits-, nicht gasgekühlt sein müssen, um die erwünschte hohe Belastung zu erzielen, aber es ist nicht ausgeschlossen, daß die Gaskühlung inzwischen wesentlich verbessert werden kann. Zwei Typen von flüssigkeitsgekühlten Reaktoren werden zur Zeit untersucht. Bei dem einen wird gewöhnliches Wasser unter hohem Druck als Moderator und als Kühlmittel verwendet. Beim andern ist der Moderator Graphit und die Kühlflüssigkeit Natrium. Der Treibstoff für diese Reaktoren der zweiten Phase wird wahrscheinlich mit dem in den Reaktoren der ersten produzierten Plutonium angereichert werden können.

Es ist wenig wahrscheinlich, daß die Reaktoren in diesen Werken mehr als einen kleinen Bruchteil der spaltbaren Atome im Urantreibstoff verbrennen werden – ihre Nutzbarmachungs- oder Verbrennungsrate wird also niedrig sein. Bei den Reaktoren der ersten Phase wird sie dagegen wahrscheinlich so beschaffen sein, daß eine Tonne Uran 10 000 Tonnen Kohle entspricht. Diese Reaktoren werden jedoch auch Plutonium herstellen, das in weiteren Reaktoren als Brennstoff verwendet werden kann. In den Reaktoren der zweiten Phase, die Plutonium verbrennen werden, hofft man, ein Äquivalent von 30 000 Tonnen Kohle zu erzielen. Eine Verbrennungsrate, die dem theoretischen Wert von 3 Millionen Tonnen Kohle auf eine Tonne Uran auch nur nahekommt, setzt die Entwicklung von Brutreaktoren voraus, d. h. Reaktoren, die von einem sekundären Treibstoff mehr produzieren, als sie an primärem Treibstoff verbrauchen. Damit läßt sich aber erst nach 1965, d. h. in der sogenannten dritten Phase rechnen.

Gegenwärtig werden verschiedene Typen von Brutreaktoren geprüft. Einer von ihnen ist ein schneller Reaktor, der zuweilen als die Gasturbine des Kernzeitalters bezeichnet wird. Er bedarf keines Moderators, dafür aber stark angereicherten Treibstoffes. In seiner endgültigen Form soll er einen Kern aus Plutoniumstäben haben, die mit einem Mantel aus Uranmetall umhüllt sind. Die Wärme

wird durch flüssiges Natrium abgeleitet und zur Dampferzeugung verwendet. Aus dem Kern entweichende Neutronen werden in den Mantel eindringen und dort Uran 238 in Plutonium verwandeln. Experimente, die in Harwell an dem Nullenergie-Plutoniumreaktor ZEPHYR vorgenommen wurden, haben gezeigt, daß in einem schnellen Reaktor von voller Größe auf jedes im Kern gespaltene Plutoniumatom im Mantel ungefähr 1,7 neue Atome produziert werden. In den Augen des Physikers ist daher ein solcher Reaktor ein ‹guter Brüter›, aber für den Ingenieur, Metallurgen und Chemiker ein Gegenstand schweren Kopfzerbrechens. Eine ungeheure Wärmemenge muß einem kleinen Volumen abgewonnen werden — ein Kern von der Größe eines Mülleimers produziert 100 000 Kilowatt —, und das bedeutet gewaltige Schwierigkeiten, was die Wärmeübertragung, die Stabilität der Komponenten bei außerordentlichem Wärmegefälle und die Schäden durch Bestrahlung betrifft. Die Materialien für Treibstoff und Mantel müssen während der Dauer ihrer Betriebsfähigkeit mehrmals bearbeitet werden, um imstande zu sein, den neugebrüteten Treibstoff zu gewinnen; was nichts anderes heißt, als daß Chemiker und Metallurgen viel billigere Gewinnungsprozesse finden müssen als die jetzt üblichen, da sonst die Kosten des gewonnenen Treibstoffs durch die Kosten der Bearbeitung derart anschwellen würden, daß sie kein Kredit, sondern ein Debet darstellen und die Krafterzeugung daher unwirtschaftlich wird. Trotzdem beschäftigt man sich eingehend mit diesen Problemen. Ein Versuchsreaktor in großem Maßstab wird gegenwärtig bei Dounreay im Norden von Schottland gebaut, der 60 000 Kilowatt Wärme erzeugen soll. Die Kernleistung dieses Systems wird in Harwell in ZEUS untersucht, einem schnellen, mit Uran 235 betriebenen Nullenergie-Reaktor.

Ungeeignet zum Brüten ist dagegen der klassische, graphitmoderierte thermische Reaktor, da seine Neutronenwirtschaftlichkeit zu gering ist. Immerhin gibt es Spielarten von thermischen Reaktoren, darunter den homogenen Wasserreaktor, die einen zum Brüten ausreichenden Neutronenüberschuß aufweisen. Der homogene Wasserreaktor unterscheidet sich von den bisher beschriebenen Reaktoren dadurch, daß hier der Urantreibstoff und Wassermoderator in einer Lösung von Uranylsulfat in leichtem (oder schwerem) Wasser vereinigt sind. Der Kern besteht also aus einer Suppe statt eines Plumpuddings. Wie bei dem schnellen Reaktor wird er von einem Mantel aus fruchtbarem Material umhüllt sein, in dem neuer Treibstoff gebrütet wird; wahrscheinlich wird dieser Mantel aus Thorium, nicht aus Uran bestehen, weshalb auch der neugebrütete Treibstoff Uran 233 und nicht Plutonium sein wird. Die Treibstoffatome in der Suppe können Uran 233 sein, falls es vorrätig ist, oder Uran 235.

Dieser besondere Typ von Reaktor besitzt viele anziehende Eigenschaften. Bei ihm ließen sich radioaktive Abfallprodukte, namentlich durch Spaltung erzeugte Gase, dauernd aus der Kernlösung entfernen, was sowohl die Neutronenabsorption verringern als auch das Brüten fördern würde. Da metallische Treibstoffelemente hier feh-

len, entfallen auch Verzerrungen und ähnliche durch Strahlungsschäden hervorgerufene Schwierigkeiten. Möglicherweise läßt die Suppe sich sogar durch einen Wärmeaustauscher pumpen und kann damit die Rolle ihres eigenen Kühlmittels spielen. Natürlich ist für all diese Vorzüge auch ein gewisser Preis zu entrichten. Die heiße radioaktive Kernlösung ist korrosiv, weshalb es noch weitgehender Versuche bedarf, um einen geeigneten Stoff für das Kerngefäß zu finden. Ein kontinuierlicher Vorgang zur Entfernung von Spaltprodukten ist leichter im Prinzip auszudenken als praktisch durchzuführen. Trotzdem werden die erwähnten Schwierigkeiten sich zweifellos überwinden lassen. Schon jetzt wird in Harwell ein ausgedehntes Programm an experimenteller Arbeit bewältigt, und ein homogener Nullenergie-Reaktor ZETR ist dort seit Beginn des Jahres 1956 in Betrieb.

Die Beteiligung der Industrie am staatlichen Energieprogramm

Man darf nicht übersehen, daß die im Weißbuchplan erwähnten Kraftwerke nicht von der Atomenergiebehörde errichtet werden sollen, sondern von privaten Industriefirmen: Eigentümer sind die Elektrizitätsbehörden, die auch den Betrieb übernehmen — was natürlich der jetzigen Praxis beim Bau von kohlengefeuerten Werken entspricht. Die zentrale Atomenergiebehörde selbst — die einzige Körperschaft, die bereits über Erfahrung auf dem in Frage stehenden Gebiet verfügt — wird sich insofern am Zehnjahresprogramm beteiligen, als sie technische Auskünfte über die Kernwerke erteilen und bei der Ausbildung der Angestellten von Industriefirmen und Elektrizitätsbehörden behilflich sein wird. Wenn, in späteren Entwicklungsstadien, die Industrie erst einmal selbst Erfahrungen gesammelt hat, wird die Zentralbehörde zwar für alle erforderlichen Hilfeleistungen zur Verfügung stehen, sich aber weiterhin hilfsbereit, abgesehen von ihrem Interesse an militärischen Fragen, wieder als Forschungs- und Ausbildungsorganisation betätigen und sich auf theoretische Untersuchungen und Pionierarbeit beim Entwurf, Bau und Betrieb von Kraftreaktoren beschränken. Sie wird auch für den Ankauf von Uran zuständig sein, für die Herstellung von Treibstoffelementen und für die Bearbeitung von verbrauchten Treibstoff- und Mantelmaterialien sowie für die Extraktion von Plutonium oder Uran 233.

Tatsächlich beruht das staatliche Kraftprogramm auf einer umfassenden Zusammenarbeit zwischen der zentralen Atomenergiebehörde einerseits und der Industrie und den Elektrizitätsbehörden andererseits. Verschiedene Firmen haben bereits hin und wieder Gelegenheit gehabt, sich durch Herstellung von Einzelteilen der Reaktoren in Calder Hall und anderswo gewisse Erfahrungen auf dem Gebiet der Atomenergie anzueignen, aber bis vor zwei Jahren hatte die Industrie als Ganzes keinen allgemeinen Überblick über die Entwicklung der Kernkraft. Als man dann mit dem Bau von

Calder Hall begann, zögerte die Atomenergiebehörde nicht, ihre Erfahrungen an die Industrie weiterzuleiten, und eine größere Zahl von Ingenieuren verschiedener Firmen wurde nach Harwell versetzt, um Hand in Hand mit dem dortigen Personal an mehreren Projekten zu arbeiten. Im Frühsommer des Jahres 1954 gestaltete diese Zusammenarbeit sich noch enger, als in der neugegründeten Reaktorschule zu Harwell 25 vorübergehend eingestellte Ingenieure an einem dreimonatigen Versuchskursus über die Fundamentalprinzipien des Kernreaktors teilnahmen. Diese Reaktorschule hält jetzt regelmäßig Kurse ab, die Studenten aus aller Welt offenstehen. Durch Veranstaltung von Sonderlehrgängen ermöglicht die Industrielle Gruppe es auch Industrieingenieuren, in Risley und den zugehörigen Fabriken Erfahrungen zu gewinnen — Lehrgängen, die gegen Ende des Jahres 1956 durch die Eröffnung der Reaktorbetriebsschule in Calder Hall systematisch erweitert wurden. Diese Schule macht sich die Reaktoren der Fabrik zunutze, um Ingenieuren, die durch die Reaktorschule in Harwell gegangen oder sonst genügend qualifiziert sind, eine höhere Ausbildung in Fragen des Reaktorbetriebs zuteil werden zu lassen. Auf diese Weise werden Industrieingenieure mit Methoden und Problemen der Atomenergie gründlich vertraut gemacht.

Im Herbst 1954 wurden von industriellen Firmen vier Arbeitsgruppen zum Studium von Plänen für Kernkraftwerke zusammengestellt, jede unter Leitung eines Herstellers schwerer elektrischer Apparate, wie auch jeder ein Kesselfabrikant und andere Spezialisten angehörten. Das unmittelbare Ziel dieser Firmen war und ist es, verbesserte Reaktoren des Typs von Calder Hall für das Kraftprogramm zu entwerfen. Die grundlegenden Auskünfte erhalten sie im allgemeinen von der Atomenergiebehörde, und diese werden natürlich zwischen den einzelnen Firmengruppen frei ausgetauscht, aber in Fragen des Entwurfs liegen die Gruppen miteinander im Wettbewerb, was Aufträge der Elektrizitätsbehörden für Kernkraftwerke betrifft. Der Bau des ersten Werks ist auf Frühjahr 1957 angesetzt.

Wir müssen betonen, daß die Kernkraftwerke des Zehnjahresplans lediglich für friedlichen Gebrauch bestimmt sind und daß während der zweiten Phase das in ihnen erzeugte Plutonium uneingeschränkt zum Betrieb der Reaktoren zur Verfügung stehen wird. In der Tat hängt das Gelingen des Wirtschaftsprogramms in keiner Weise vom Verkauf von Plutonium an militärische Kunden ab. Andererseits läßt sich nicht bestreiten, daß das Wirtschaftsprogramm dem militärischen Programm einiges zu verdanken hat, ja, in gewisser Weise davon abhängig ist. Ein großer Teil der Forschungsarbeit, die die Herstellung von kriegswichtigem Material betrifft, kommt den Reaktoren auch für friedlichen Gebrauch zugute; größere Werke wie etwa Calder Hall, die für militärische Zwecke gebaut worden sind, dienen als Muster für Industriebetriebe; Fabriken, dazu bestimmt, Uran herzustellen und zu militärischen Zwecken Plutonium zu extrahieren, können auch in das Wirtschaftsprogramm

einbezogen werden: jedenfalls lassen die Kosten sich über einen weiten Produktionsbereich hin verteilen zu einer Zeit, in der der industrielle Bedarf noch gering ist. Zuletzt wird die Erzeugung von Kernkraft für friedliche Zwecke sich zweifellos selbst bezahlt machen. Aber schon jetzt hat sie dem militärischen Programm nicht weniger zu verdanken als die Entwicklung der privaten Luftfahrt dem militärischen Interesse am Flugzeug.

Das also wäre in Kürze die Geschichte von Calder Hall und den gasgekühlten Reaktoren im allgemeinen sowie ein Ausblick auf die Zukunft. Die Diskussion über den gasgekühlten Natururanreaktor ist nicht verstummt, seitdem zum erstenmal der Gedanke an einen Atommeiler auftauchte; und nach lebhaftem Hin und Her ist sie zugunsten eines wassergekühlten und luftgekühlten Meilers entschieden worden. Der gasgekühlte Reaktor ist als Uranverschwender abgelehnt und als unförmig plump und überholt gebrandmarkt worden. Und trotzdem sind die Konstrukteure immer wieder auf ihn zurückgekommen, bis schließlich eine sorgsam durchgeführte Möglichkeitsprüfung einwandfrei bewies, daß sein Bau sich wirklich lohnt: er war sicher und widerstandsfähig, und er erforderte auch kein Übermaß an Extrapolationen auf Grund bereits bekannter Fakten. Und endlich konnte er schneller als jeder andere Typ zu einem annehmbaren Preis Kraft erzeugen. So wurde er denn in Calder Hall gebaut, eine Kraft- und Treibstoffquelle, mit reichen Entwicklungsmöglichkeiten für die Zukunft. Zweifelsohne darf Großbritannien auf eine solche Leistung stolz sein.

‹ATOMKERNENERGIE›

1

Ende 1938 entdeckten HAHN und STRASSMANN einen neuen kernphysikalischen Prozeß: Die Spaltung des Urankerns. Wer hätte damals die umwälzenden Auswirkungen ahnen können, die durch diese Entdeckung verursacht wurden? Was bis dahin reine Grundlagenforschung war, wurde in kurzer Zeit zum Brennpunkt technischen Interesses.

Die Arbeiten, die zur Entdeckung der Uranspaltung führten, hatten ursprünglich das Ziel, Transurane[1] herzustellen, von deren praktischer Bedeutung damals keine Rede sein konnte. Aber schon wenige Monate nach der Entdeckung HAHNS und STRASSMANNS wurde durch weitere Arbeiten von LISE MEITNER und FRISCH, FLÜGGE und v. DROSTE sowie HALBAN, JOLIOT und KOWARSKY aufgezeigt, daß die Spaltung mit einem beträchtlichen Energiegewinn verbunden ist und in einer Kettenreaktion nutzbringend ausgewertet werden kann. Damit war die Möglichkeit der technischen Kernenergiegewinnung im großen Stil erkannt. Es gibt wenige so auffallende Beispiele in der Geschichte der Naturwissenschaften, wie unmittelbar die reine Grundlagenforschung in die technische Entwicklung eingreifen kann.

2

Es soll hier von den Aspekten die Rede sein, die sich durch die friedliche Verwendung der Atomenergie in der modernen Energiewirtschaft eröffnen.

Die Atomkernspaltung stellt eine neue Energiequelle dar. 1 kg Steinkohle liefert bei der Verbrennung 7—8 kWh (kWh = Kilowattstunden), 1 kg Uran 235 bei der Spaltung dagegen 25 Mill. kWh, d. i. etwa die Energieproduktion von 3—4 Güterzügen Steinkohle!

Uran 235 ist nur zu 0,7 % im natürlichen Uran enthalten und außerordentlich schwer aus diesem zu isolieren. Unterstellt man jedoch, daß der Hauptbestandteil des natürlichen Urans, das Uran 238, im Brutprozeß wenigstens zu 33 % in Plutonium verwandelt werden kann, so erhält man aus 1 kg natürlichem Uran etwa 8 Mill. kWh, so daß 1 kg Uran etwa 1 Mill. kg Steinkohle entsprechen. Auch Thorium läßt sich im Brutprozeß in spaltbares Material verwandeln, nämlich in Uran 233.

Die Schätzungen der weltweiten Vorkommen an spaltbarem Material gehen sehr weit auseinander. Nach einer Aufstellung von

[1] Radioaktive chemische Elemente mit einer höheren Ordnungszahl als der des Uran (92).

WINNIGER [1] haben die Weltreserven an Uran und Thorium den Energieinhalt von ungefähr $600 \cdot 10^{15}$ kWh, das sind 22 mal mehr als die Energie aus herkömmlichen Brennstoffen ($27 \cdot 10^{15}$ kWh). Es ist jedoch eine Frage der technischen Entwicklung, welcher Prozentsatz der genannten Reserven wirklich nutzbar gemacht werden kann. Um demgegenüber eine Vorstellung von der Energiemenge zu geben, die im Jahre 1952 in der ganzen Welt umgesetzt wurde, seien die folgenden Daten angegeben: Es wurden im genannten Jahr $29{,}0 \cdot 10^{12}$ kWh Wärmeenergie erzeugt, davon waren Verluste bei der Erzeugung, dem Transport und dem Verbrauch der Energie $18{,}8 \cdot 10^{12}$ kWh, tatsächlich als Wärme oder Kraft verwendet wurden $10{,}2 \cdot 10^{12}$ kWh [2].

Der Weltenergieumsatz ist im ständigen Anstieg begriffen. Die Hauptursachen hierfür sind die zunehmende Bevölkerungszahl und die wachsende Industrialisierung.

Die folgende Tabelle gibt hierfür einen Anhalt:

Weltenergiebedarf in 10^{12} kWh	1952 tatsächlich	1975 geschätzt	2000 geschätzt
Industrie	5,8	18	60
Transport	0,8	2,5	8
Landwirtschaft	0,3	0,5	1
Haushalte	3,3	6	15
insgesamt	10,2	27	84

Aus dieser Tabelle geht hervor, daß sich der Bedarf an nutzbarer Energie bis zum Jahre 2000 dreimal verdoppeln wird. Können die Produktion an Kohle und Erdöl und die Nutzbarmachung von Wasserkräften mit diesem raschen Anstieg schritthalten?

Die Steinkohle ist heute im Schnitt der bei weitem bedeutungsvollste Energielieferant. Ihre Weltförderung hat sich von 1900 bis 1953 nur einmal verdoppelt. Die Wasserkräfte sind in vielen Ländern bereits weitgehend ausgenutzt oder sie sind nur beschränkt ausnutzbar, da sie an ihren natürlichen Entstehungsorten verwendet werden müssen (z. B. die Wasserkräfte in Französisch-Kongo). Die Reserven an Erdöl sind beschränkt oder zumindest außerordentlich schwer abschätzbar.

Es kommt ein weiterer Gesichtspunkt hinzu: die Kosten pro kWh erzeugter Energie. Der ständig zunehmende Bedarf an Steinkohle macht den Abbau tieferer und ärmerer Flöze notwendig. Das führt zu wachsenden Kohlepreisen. Die relativen Kosten pro Tonne Steinkohle erhöhen sich beispielsweise in Großbritannien pro Jahr im Mittel um 1,2 % [3]. Wie kann die Atomenergie in dieser Hinsicht konkurrieren? Auch sie wird dem Gesetz der steigenden Kosten unterworfen sein. Allerdings ist im Zuge der technischen Entwicklung

---

[1] A. WINNIGER, Atomspaltung und Energieversorgung der Zukunft, 1954.

[2] *Peaceful Uses of Atomic Energy Vol. 1 P/902, United Nations, 1956.*

[3] G. H. DANIEL, *Peaceful Uses of Atomic Energy P/388, U. N.*

zunächst mit einem Abnehmen der Energiepreise aus Atomkräften zu rechnen. Zur Zeit sind die meisten Experten auf diesem Gebiet der Meinung, daß die Kernspaltung vorläufig noch keinen wesentlichen Beitrag zur Deckung des Energiebedarfs leisten kann. Die Ursache hierfür sind die sehr hohen Investitionskosten, die mit dem Bau eines reaktorbetriebenen Kraftwerkes verbunden sind. Wenn auch die Brennstoffkosten beim Kernreaktor beträchtlich niedriger liegen, insbesondere dann, wenn er als Brutreaktor arbeitet und erbrütetes Brennmaterial (z. B. Plutonium) verkauft werden kann, so ist der für seine Herstellungskosten zu leistende Kapitaldienst wesentlich höher als bei herkömmlichen Dampfkraftwerken. Dazu kommt, daß ein nicht unbeträchtlicher Teil der Energiekosten beim Endverbraucher durch die Verteilung (Ausbau und Erhaltung des Stromverteilungsnetzes, Verluste) zustandekommt, also im Zuge der Umstellung der Erzeugung auf Kernenergiebasis keiner Einsparung fähig ist.

Die technische Entwicklung und Verbesserung auf dem Gebiete der Kernenergieverwertung einerseits und die steigenden Kosten und fallenden Reserven der Steinkohlen andererseits werden dazu führen, daß die Erzeugung von Energie aus Uran und Thorium allmählich in die Energiewirtschaft hineinwachsen wird.

3

Da in den einzelnen Ländern die Steinkohlepreise und -Reserven und der Grad der Industrialisierung erheblich voneinander abweichen, müssen auch Betrachtungen über die Wirtschaftlichkeit und Notwendigkeit der Kernenergieverwertung in verschiedenen Ländern zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Es ist kein Zufall, daß gerade in *England* das erste Atomkraftwerk Europas in Betrieb genommen wurde. Die englischen Kohlevorkommen sind begrenzt und die Kosten ihrer Ausbeutung hoch. Auf der anderen Seite steigt der Energiebedarf schnell an. Darum entschloß sich die englische Regierung 1955 zu einem Zehnjahresplan, in dessen Rahmen bis 1965 zwölf Kernkraftwerke mit zusammen 2 Mill. kW gebaut werden und damit jährlich 5 Mill. t Kohle gespart werden sollen. (Die Hamburger Elektrizitätswerke leisteten vergleichsweise im Jahre 1954 im Mittel etwa 0,25 Mill. kW für 1,7 Mill. Einwohner.) Nach 1965 rechnet man in England[1] auf Grund der bis dahin gewonnenen Erfahrungen mit einer noch rascheren Entwicklung. Ab 1975 – so erwartet man – wird der gesamte zusätzliche Energiebedarf Großbritanniens (3 Mill. kW/Jahr) von der Spaltung gedeckt werden können, so daß im Jahre 2000 über 200 Mill. t Steinkohle pro Jahr durch die Atomkernenergie ersetzt würden. (Die Steinkohlenförderung in der Bundesrepublik war 1954 128 Mill. t.)

---

[1] Sir John Cockcroft, *Peaceful Uses ... P/389, U. N.*

Anders ist die Situation in den *Vereinigten Staaten*. Die besonders hohe Leistungsfähigkeit der Wirtschaft und die seit Beginn des Krieges gesammelten Erfahrungen, schließlich die Tatsache, daß keine drohenden Kohlesorgen eine schnelle Kernenergieverwertung notwendig machen, erlauben den Bau einer großen Zahl von Forschungsreaktoren und Versuchswerken, die der Entwicklung von immer leistungsfähigeren und billigeren Atomkraftwerken dienen. Man rechnet damit, daß diese etwa im Jahr 1960 in Einzelfällen die Grenze der Konkurrenzfähigkeit erreichen werden. Zwischen 1960 und 1970 können 10—20 % aller neu zu errichtenden Kraftwerke Atomenergieanlagen sein, im Jahre 2000 sogar 50 %[1]. Die rasche Entwicklung der Atomindustrie in den USA möge beispielsweise durch die Zahl der in ihr beschäftigten Ingenieure gekennzeichnet werden: Im Jahre 1944/45 waren es 2000, für das Jahr 1964 rechnet man mit 24 000.

Die in naher Zukunft in den USA vorgesehenen Atomkraftwerke liegen in ihrer Leistung zwischen 60 000 und 250 000 kW. Gasgekühlte Atommeiler wie der in Calder Hall sind nicht geplant, wohl aber einige schnelle Reaktoren.

In *Frankreich* begann die Atomenergieentwicklung sofort nach Beendigung des Krieges. 1948 wurde der erste Forschungsreaktor in Betrieb genommen. Inzwischen sind weitere Versuchswerke aufgebaut worden, so in Saclay, Marcoule (Südfrankreich) und Avignon. In etwa 15 Jahren soll die Atomenergie in Frankreich einen erwähnenswerten Beitrag zur Energieproduktion des Landes liefern.

Auch in der *Schweiz* ist man an der Nutzbarmachung der Kernenergie stark interessiert, obwohl man über billige Wasserkräfte verfügt. Diese schätzt man auf etwa 30 Mrd. kWh pro Jahr. Hiervon ist bis heute etwa die Hälfte zur Energiegewinnung eingespannt. Kohle ist wegen der Transportkosten sehr teuer. Die Sorge um die Verknappung der Energiereserven ist die Haupttriebfeder zum Bau von Reaktoren, hinzu kommt noch die damit verbundene Möglichkeit der Belebung der Exportindustrie.

In *Schweden* gibt es ebenfalls reichlich Wasserkraft, die erst in 20 Jahren ausgelastet sein wird. Man betreibt daher keine Atomkraftwerke, da diese noch nicht konkurrieren können, sondern nur einige Forschungsreaktoren.

Nach dem laufenden sowjetischen Vierjahresplan sollen in *Rußland* 1960 Atomkraftwerke mit insgesamt 2—2,5 Mill. kW in Betrieb sein.

Auch in anderen Ländern in und außerhalb Europas ist bereits ein Atomprogramm angelaufen. So z. B. in *Kanada*, das eng mit den USA zusammenarbeitet, in *Japan*, *Australien* und *Indien*.

Die hohen Kohlepreise in der Bundesrepublik *Deutschland* lassen hier die Entwicklungsmöglichkeiten von Atomkraftwerken noch günstiger erscheinen als in Großbritannien. Allerdings erfordert der vorläufig noch herrschende Mangel an technischen Erfahrun-

---

[1] P. Wiel, Wirtschaftliche Probleme der Atomenergie, Essen 1956.

gen und Fachpersonal besonders hohe Anfangsinvestitionen. Zur Zeit sind mehrere Forschungsreaktoren im Bau oder geplant.

Im ganzen gesehen sollte man annehmen, daß in naher Zukunft durch die Entwicklung von Atomenergiewerken keine einschneidenden Veränderungen in der Produktionsstruktur der Industrieländer eintreten werden. Der Strom aus Reaktoranlagen wird in absehbarer Zeit konkurrenzfähig werden. Auch eine Einschränkung des Kohlenbergbaus und damit verbundene Folgen für die soziale Struktur der Industriestaaten sind kaum zu erwarten.

4

Nicht unwesentlich für die Entwicklung der Kernenergieverwertung ist die Lage der Hauptweltvorkommen an Uran und Thorium sowie einiger für den Bau von Reaktoren wichtiger Materialien wie z. B. Zirkon.

Uran ist ein weitverbreitetes Element und kommt in vielen Mineralien vor. Am wertvollsten sind die relativ seltene Pechblende mit bis zu 60 % Uran und Carnotit mit 2—7 % Uran. Bei etwa 0,1 bis 0,3 % Urangehalt beginnt die Abbauwürdigkeit wegen der großen zu verarbeitenden Gesteinsmassen fraglich zu werden. Es werden aber auch noch ärmere Erze verarbeitet.

Die wichtigsten Vorkommen befinden sich in *Afrika* im südlichen Kongo (*Belgisch-Kongo*). Es handelt sich um Pechblende mit etwa 3 % Urangehalt. Die auf 50—70 % aufbereiteten Erze gehen auf Grund von Kaufverträgen nach den Vereinigten Staaten und Großbritannien. Große Vorräte an Uran scheinen auch in *Kanada* zu lagern, insbesondere im Nordwestterritorium, beim Großen Bären-See und nördlich des Athabasca-Sees.

Im Goldrevier *Südafrikas* gibt es bedeutende Erze mit 0,3—0,5 % Urangehalt. Ihr Abbau geschieht in Verbindung mit der Goldgewinnung und ist darum besonders rentabel.

Weitere Uranvorkommen befinden sich in den *Vereinigten Staaten*, in *Australien*, auf *Madagaskar*, in der *UdSSR* und in *China* sowie in der *DDR* (Erzgebirge und Vogtland). Die zur Zeit bekannten Vorkommen in *Westdeutschland* (im Fichtelgebirge und im Schwarzwald) sind unbedeutend, werden aber in gewissem Umfang ausgewertet.

Thorium kommt als Monazit vor (5—8 % Thoriumgehalt) und befindet sich vor allem in *Indien*, *Brasilien*, *Tasmanien* und auf *Ceylon*. Die Verarbeitung ist bis hinunter zu einem Thoriumgehalt von 0,05 % möglich. Die Aufbereitung von Thoriumerzen in *Indien* ist 1952 in größerem Rahmen begonnen worden.

rde

ÜBER DIE VERFASSER

ERICH BAGGE wurde 1912 in Neustadt bei Coburg/Oberfranken geboren. Er studierte in München und Berlin Physik. Sein Hauptinteresse galt zunächst der kosmischen Ultrastrahlung. Im Anschluß an seine Diplom-Prüfung (1935) promovierte er bei HEISENBERG in Leipzig mit einer Arbeit zur Theorie der Kernkräfte. Seiner Dissertation folgten verschiedene Abhandlungen über Vorgänge der Kernzertrümmerung durch die kosmische Ultrastrahlung. Als Fachmann auf kernphysikalischem Gebiet wurde er im September 1939 vom Heereswaffenamt zur Mitarbeit an den dort eingeleiteten Untersuchungen zur Nutzbarmachung der Kernenergie aufgefordert. 1941 wurde er wissenschaftlicher Assistent am Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin und arbeitete während dieser Tätigkeit ein neues Verfahren zur Isotopen-Trennung aus, das heute in Fachkreisen als ‹Isotopenschleuse› allgemein bekannt ist. Am 22. April 1945 wurde er zusammen mit namhaften deutschen Kernphysikern in Hechingen/Hohenzollern, wohin das Institut gegen Kriegsende verlagert worden war, von den Alliierten festgenommen und für fast ein Jahr zunächst in Frankreich und Belgien und dann in England interniert. Nach der Rückkehr nach Deutschland wurde BAGGE im März 1946 unter HEISENBERG in Göttingen Assistent an dem inzwischen in ‹Max-Planck-Institut für Physik› umgetauften ehemaligen Kaiser-Wilhelm-Institut. 1948 erhielt er einen Ruf an die Universität Hamburg als außerordentlicher Professor für Physik. Während seiner Hamburger Zeit wandte er sich wieder intensiv der Erforschung der kosmischen Ultrastrahlung zu, mit dem Hauptgewicht auf der Untersuchung der Ultrastrahlungsneutronen in der Atmosphäre und in bodennahen Materieschichten. Außerdem befaßte er sich mit der Weiterentwicklung der Funkenplattenzähler für Ultrastrahlenmessung. 1956 wurde er technisch-wissenschaftlicher Geschäftsführer der neugegründeten Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt, Hamburg, und baute im Rahmen dieser Funktion eine Arbeitsgruppe zur Behandlung von Reaktorproblemen und zur Konstruktion von Kernreaktoren auf. Im April 1957 wurde er zum Direktor des Instituts für reine und angewandte Kernphysik in Kiel ernannt. — ERICH BAGGE ist Mitherausgeber der Zeitschrift ‹Atomkernenergie›.

Wichtige Veröffentlichungen:
Zur Theorie der Kernschwingungen (1938)
Zur Theorie der Kernzertrümmerungen (1941)
Entwicklung der Isotopenschleuse (1943)
Zusammenfassender Bericht über die deutschen theoretischen Arbeiten zur kosmischen Ultrastrahlung von 1939 bis 1945. (*Fiat-Reviews of German Scientists*, Bd. 13, 1948.)
Ursprung und Eigenschaften der kosmischen Strahlung (Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften 1948)

Kurt Diebner wurde am 13. 5. 1905 in Obernesse bei Naumburg geboren. Seit 1925 studierte er Physik zunächst in Halle und dann in Innsbruck. Er promovierte 1931 als Schüler von G. Hoffmann mit einer Arbeit ‹Über die Kolonnenionisation einzelner Alpha-Strahlen›. Anschließend arbeitete er mehrere Jahre als wissenschaftlicher und Forschungsassistent am Physikalischen Institut der Universität Halle. In diese Zeit fallen mehrere experimentelle Arbeiten über Kernumwandlungen sowie der Aufbau einer Hochspannungsanlage für die Beschleunigung von Protonen. 1934 trat er als Mitarbeiter in die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Berlin ein. Schon im Dezember des gleichen Jahres wurde er Referent im Reichskriegsministerium bzw. im Oberkommando des Heeres, zuletzt als Oberregierungs-Baurat. In dieser Funktion war er führend beteiligt an der Aufnahme der Arbeiten zur Kernenergieverwertung in Deutschland, zuletzt (bis 1945) als Leiter der Versuchsstellen des Heereswaffenamtes in Gottow und des Reichsforschungsrates in Stadtilm. In diese Zeit fallen experimentelle Arbeiten zur Neutronenvermehrung mit Anordnungen aus Uranwürfeln und schwerem Wasser im Hinblick auf den Aufbau von Kernreaktoren.

Ende April 1946 wurde Diebner durch die Alliierten Truppen gefangengenommen und mit dem gleichen Kreis führender deutscher Kernphysiker wie Bagge in England interniert. Nach seiner Rückkehr nach Deutschland baute er im Januar 1946 ein privates Institut für die Entwicklung von elektronischen Meßgeräten auf. 1948 wurde er Leiter und Mitinhaber der Durag-Apparatebau GmbH, Hamburg. Am Aufbau der bereits erwähnten Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt war Diebner führend beteiligt und fungiert jetzt als ihr stellvertretender Aufsichtsratsvorsitzender; außerdem ist er geschäftsführender Vorstand der Studiengesellschaft zur Förderung der Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt e. V. — Kurt Diebner ist Mitherausgeber der Zeitschrift ‹Atomkernenergie›.

Wichtige Veröffentlichungen:

‹Künstliche Radioaktivität› gemeinsam mit E. Grassmann, Hirzel, Leipzig 1939.

‹Resonanz-Eindringung von Alpha-Teilchen in den Aluminiumkern› 1932.

‹Erweiterung der Grenzen für die Anwendung des Vakuum-Duanten-Elektrometers› 1933.

KENNETH EDMUND BRIAN JAY wurde 1909 in London geboren. Er besuchte die *University College School* in London und studierte dann am *University College* in London Physik. Nach seiner Promotion war er zunächst unter Leitung des bekannten englischen Atomphysikers Prof. ANDRADE rein wissenschaftlich forschend tätig. Bei Kriegsausbruch wurde er, mit einem Spezialauftrag für Radarforschung, Mitarbeiter des *Telecommunications Research Establishment.* 1945 erhielt er den Auftrag, im Rahmen des *Cabinet War Historians Office* an der amtlichen Geschichte des letzten Krieges mitzuschreiben. Mr. JAY hat den vorliegenden Bericht über die erste britische Atomstation als Mitglied des *Atomic Energy Department* im Auftrag dieser Behörde geschrieben. Wie unten angegeben, hat er sich bereits durch mehrere ähnliche Veröffentlichungen einen Namen gemacht.

Wichtige Veröffentlichungen:
Harwell 1952
Britain's Atomic Factories (Bestseller!) 1954.
Atomic Energy Research at Harwell 1955.

LITERATURHINWEISE

Hahn, O., und F. Strassmann, 22. 12. 1938: Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. ‹Naturwissenschaften› 27, S. 11, 1939

— —, 28. 1. 1939: Nachweis der Entstehung aktiver Bariumisotope aus Uran und Thorium durch Neutronenbestrahlung; Nachweis weiterer aktiver Bruchstücke bei der Uranspaltung. ‹Naturwissenschaften› 27, S. 89, 1939

Meitner, L., und W. Frisch, 16. 1. 1939: Uranspaltung durch Neutronen: Eine neuartige Kernreaktion. ‹Nature› 143, S. 239, 1939

Halban, Joliot und Kowarsky, 8. 3. 1939: Freisetzung von Neutronen bei der Uranspaltung. ‹Nature› 143, S. 470, 1939

Flügge, S., Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden? ‹Naturwissenschaften› 27, S. 402, 1939

Bericht des Referates Wa F Ia (Oberkommando des Heeres) über die Tagung des ‹Uranvereins› vom 26. bis 28. 2. 1942

Die deutschen Geheimarbeiten zur Kernenergieverwertung während des Zweiten Weltkrieges 1939—1945. Aufgeführt in der Zeitschrift ‹Atomenergie›, Hefte 10—12, 1956

Heisenberg, W., Über die Arbeiten zur technischen Ausnützung der Atomenergie in Deutschland. ‹Naturwissenschaften› 33, S. 325, 1947

Smyth, H. D., Atomenergie, A. E. C. (USA), 1945, und Ernst Reinhard Verlag, Basel 1947

Heisenberg, W., und K. Wirtz, Großversuche zur Vorbereitung der Konstruktion eines Uranbrenners. ‹Naturforschung und Medizin in Deutschland›, Bd. 14, S. 143—165, 1939—1946

Haxel, O., Der Beitrag der schnellen Neutronen zur Neutronenvermehrung im Uran. ‹Naturforschung und Medizin in Deutschland›, Bd. 14, S. 165 bis 173, 1939—1946

Höcker, K. H., Physikalische Gesichtspunkte für den Bau eines Uranbrenners. ‹Naturforschung und Medizin in Deutschland›, Bd. 14, S. 174 bis 180, 1939—1946

Walcher, W., Isotopentrennung in kleinen Mengen. ‹Naturforschung und Medizin in Deutschland›, Bd. 14, S. 94—106, 1939—1946

Harteck, P., Isotopentrennung in technischem Maßstabe. ‹Naturforschung und Medizin in Deutschland›, Bd. 14, S. 181—193, 1939—1946

Goudsmit, S., Alsos, Verlag Henry Schuman, New York 1947

Bagge, E., Technische Anwendungsmöglichkeiten der Atomenergie. ‹Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft›, 48, S. 111—119, 1954

PERSONEN- UND SACHREGISTER

Personenregister

Anderson 66
Andrade 158
Attlee, Clement 59, 65 f, 69

Bagge, Erich 7, 22 f, 38, 43, 77, 156 f
Basche 22 f
Bewilogua 64
Blackett, P. M. S. 60 f, 67
Bohr, Niels 18, 34, 50
Bopp, Fritz 25
Born, Max 9, 11
Bothe, Walther 10 f, 22 f, 25, 50
Bragg, Sir William Henry 61
Brandt, Leo 73
Burger, Ewald 49
Bush 29

Churchill, Sir Winston 45, 54 f, 59
Clusius, Klaus 24, 31, 36 f
Conant, James B. 29
Curie, Irène 17
—, Marie 19
Czulius 66

Darwin, Sir Charles 59
Debye, Peter Josef Wilhelm 11
Dickel, Gerhard 31, 37
Diebner, Kurt 7, 21 f, 26, 43 f, 46, 48, 55, 57, 62 f, 66, 68 ff, 76 f, 157
Döpel 24 f, 27
Dorpmüller, Julius 52
Droste, G. von 18, 25, 151
Ducrocq, Albert 84 (Fußn.)

Einstein, Albert 9, 11
Eisenhower, Dwight David 47 ff, 52
Esau, Abraham 20, 22, 29

Fermi, Enrico 16 f, 27 f, 40
Fischer, Erich 25
Flammersfeld, Arnold 25
Fleischmann, Rudolf 37
Flügge, Siegfried 18, 21 ff, 31, 151
Franck, James 10 f
Frank, F. C. 64 f
Fraser, Ronald 70 ff
Frisch, W. 18, 151
Furtwängler, Wilhelm 48

Geib, Karl-Hermann 36
Geiger, Hans 10, 20 ff
Gentner, Wolfgang 25
Gerlach, Walther 10, 43, 52 ff, 56 ff, 60, 62, 70 ff
Goethe, Johann Wolfgang v. 68
Goldschmidt 51
Goudsmit, Samuel 39, 43 f, 47, 56
Groth, Wilhelm 19, 25, 37, 72

Hahn, Otto 7, 9, 11, 17 ff, 21, 24, 42, 44 ff 49 ff, 53 f, 56 ff, 64 ff, 71 f, 151
Halban 19, 151
Harteck, Paul 19 ff, 35 ff, 43, 47, 50, 52, 54 ff, 59, 63, 71 f
Hartwig, Georg 66
Hassel, Kai-Uwe v. 80
Heisenberg, Werner 7, 10, 23 ff, 42, 46 ff, 50, 53, 55 ff, 63 f, 67 ff, 156
Herrmann 66
Hertz, Gustav 10, 37
Hill, Sir Roderic 61
Hoffmann, G. 10, 21 f, 157
Hund, Friedrich 10

Illies, Kurt 77

Jay, Kenneth E. B. 89 (Fußn.), 158
Jensen, Hans 25
Jentschke 25
Joos, Georg 24
Joliot-Curie, Frédéric 19, 35, 151

Kirchner, Fritz 25
Knauer, Friedrich 25
Kolb, Albert 76
Korsching, Horst 43 f, 51, 57, 60, 62 f, 71
Kossel, Walther 10
Kowarsky 19, 151

Ladenburg, Richard 11
Laue, Max v. 7, 9, 42, 44, 46 f, 53, 57 f, 60 ff, 65, 67 f, 71 f
Lawrence, William 11

Mattauch, Josef 22
Meitner, Lise 11, 17 f, 151

Niemöller, Martin 52
Nier, A. O. 34

Osenberg 52

Pauli, Wolfgang 10
Planck, Max 9
Pohl, Robert 10
Prankl 25

Ramsauer, Carl 10
Riezler, Wolf 73
Rimskij-Korsakoff, Nikolai Andrejewitsch 66
Roosevelt, Franklin Delano 59
Rutherford, Ernest Lord of Nelson 60

Siegbahn, Manne 67
Sieveking, Kurt 79
Sommerfeld, Arnold 9, 47
Speer, Albert 52
Suess, Hans 25, 35
Suhr 37
Svedberg, Theodor 67

Schaumann, H. Wilhelm 80
Schnadel, Georg 73
Schrack, Horst 79
Schrödinger, Erwin 10 f
Schubert 80

Stalin, Josef Wissarionowitsch 54, 57
Stern, O. 10
Straßmann, Fritz 9, 11, 17 ff, 151
Strauß, Franz Jos. 80

Towgood 55
Truman, Harry 54, 59, 65 f, 69

Weinblum, Georg 76
Weizsäcker, Carl Friedrich v. 7, 24, 38, 43 f, 49, 53, 57, 60, 68, 70 f
Westgreen 67
Winniger, A. 152
Wirtz, Karl 25, 43 f, 52, 65, 68, 71

Zipprich 21

Sachregister

Abstellverstärker 125
Aerodyn. Versuchsanst. Göttingen 13, 71 f
Allgem. Relativitätstheorie 68
‹Alsos› (S. Goudsmit) 39
‹Alsos-Mission› 39
Alternator 111, 129, 131 (Abb.), 134
Aluminium 99 ff, 137
Ammoniak 96
Antimon 124 f
‹Arbeitsgemeinschaft Kernphysik› s. Physiker, deutsche
Atom 18 f, 83
— -bombe 34, 37 ff, 56 ff, 67 f
— -energiegewinnung 84 ff, 130, 132, 151 ff, s. a. Kernenergie
— -energiekommission, amerik. 16, 33
— -energiekonferenz in Genf 73, 75 f
— -kraftwerk, Kosten 79, 113, 145
— -meiler s. Reaktor
— -spaltung s. Kernspaltung
— -technik s. Kernenergieverwertung
— -werk, Rentabilität 92, 103, 105, 143 ff

Atomic Energy Research Establishment (AERE) s. Harwell

Baily-Brücken 120
Barium 17
BEPO (Reaktor) s. Harwell
Berkley, Calif. (USA) 11
Beryllium 50, 88, 94, 96, 99 f, 124 f, 145, s. a. Moderator
Betonpanzer 116 f, 119, 131 (Abb.)
biologischer Panzer s. Betonpanzer
Blei 136 f
Bor 88
— -Trifluorid-Rhythmusmesser 125
Bremssubstanz 23 f
—, Graphit als 28, 34, 90
—, Kohle als 25, 34
—, Kohlensäure als 25 f
—, Paraffin als 26 ff
—, schweres Wasser als 34 f, 41
Brennsubstanz 24, 26, 88
Brutprozeß 151, 153
Brutreaktor 93, 146 f
Bundesministerium f. Atomfragen 80
— -verkehrsministerium, Abt. Seeschiffahrt 80

Burgersche mathemat. Modelltheorie 49

Calder Hall, Naturuuran-Reaktor in 123
—, Reaktorbetriebsschule 149 f
Cavendish Laboratory (England) 11
Chalk River (Canada), Reaktor in 92, 96
Chapel Cross 130
Chemie der Zellteilung 65
Chicago 27, 40
Clusius-Dickel-Verfahren s. Trennrohrverfahren

‹Daily Telegraph› 67
Dampfanlage 103, 109 f, 115, 145, 147
Derrick-Kran 118
Detektoren 134
Deuterium 35 f, 88, 94, s. a. schweres Wasser
Diagrid 108, 118, 131 (Abb.)
DIDO (Reaktor) s. Harwell
Divergenz 84, 86, 132 ff
Dounreay (Schottland), Versuchsreaktor in 147
Druckbehälter 104 (Abb.), 105 ff, 108 (Abb.), 116, 118 ff, 131 (Abb.), 133 f, 140, 144 f

Ehrenfestscher Beweis 53
Eisen 137
Elektrizitätsbehörden (Großbritannien) 105, 148
— -erzeugung s. Energieerzeugung
Elektron 83
Elektronengehirn 142
Element 93 s. Neptunium
— 94, s. Plutonium
Energieerzeugung 83, 89, 91 ff, 103 ff, 111, 115, 129 f, 143, 145, 147, 151 ff
Erdöl als Energiequelle 152
‹Evening Standard› 55
Experimentierpile 25, s. a. Reaktor

Fernsehkamera 134 f
Forschungsaufgaben 72, 135
— -Finanzierung 10 f, 14, 20
— -organisation 9 ff

Gasdruck 144
Gasgebläse 104 (Abb.), 111, 125 f, 131 (Abb.)
Gaskreislauf 104 (Abb.), 105, 122, 125, 127 (Abb.), 129, 134
Gebläse 105, 109, 139, 144
—, Geschwindigkeit 126, 139
Generator 131 (Abb.), 138
Gottow, Heeresversuchsstelle 22, 26, s. a. Versuche
Graphit 88, 105, 116, 139 ff, s. a. Bremssubstanz, Moderator
— -kern 120
— -Uran-Gitteranordnung 27
Grundlagenforschung 9 ff, 17 f, 21 f, 65, 72, 74, 78, 151

Hamburg 25, 47, 73 f, 77, 79
Harwell 91 ff, 97, 100 f, 105, 112 ff, 124, 135 f, 138 f, 142 f, 147
—, Atomic Energy Research Establishment (AERE) 88 f
—, BEPO (thermischer Reaktor) 87 f, 90, 94, 97 f, 100, 139 f
—, DIDO (Reaktor) 140
—, exponentieller Reaktor 143
—, PIPPA (Reaktor) 93, 105, 109, 112, 115, 136, 141
—, ZEPHIR (Nullenergiereaktor) 147
—, ZETR (homogener Nullenergiereaktor) 148
—, ZEUS (schneller Nullenergiereaktor) 147
—, Reaktorschule in 149
Hechingen 42 f, 47 f, 57, 60, 71
Heereswaffenamt 15, 20 ff, 26, 28, 30, 34 f, 37, 39 f, 42 f, 74
Heidelberg 11, 25 ff, 44, 61
Heißgas 108 (Abb.), 127 (Abb.), 131 (Abb.)
Heitler- und London-Theorie 68
Helium 50, s. a. Kühlmittel
Hertzsche Gasdiffusionsmethode 37 f
Hiroshima 16, 56
Hochspannungsanlagen für Kernumwandlung 11, s. a. Kernspaltung
Hülsenfabrikation 99 ff, 105, 137, 139, s. a. Rippenhülsen

Industriefirmen, britische
Babcock and Wilcox 92, 105, 109, 115, 126
Alexander Findlay and Co. 117
Methew Hall Ltd. 117
Parolle Electrical Plant Co. Ltd. 92, 113

C. A. Parsons Ltd. 92, 105, 111, 125
Whessoe Ltd. 105, 107
Tailor Woodrow Construction Ltd. 117
Initialzündung von Sprengstoffen 21
Inst. f. physik. Chemie Universität Hamburg 18, 71
— f. Schiffbau Universität Hamburg 77
— f. theoret. Physik Universität Leipzig 22
Ionisationskammer 124 f
Isotope des Urans s. Uran
— -ngemisch, Anwendung des 32
— -schleuse 38
— -ntrennung 24, 29 ff, 34, 37 ff, 57

Joachimsthal (CSR) 26

Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, s. Max-Planck-Ges.
— -Institut f. Physik 11, 16, 25 f, 29, 38, 41 ff, 64, 71, s. a. Max-Planck-Inst.
Kaltgas 108 (Abb.), 127 (Abb.), 131 (Abb.)
Karlsruhe 73 ff
Kernanordnung, vertikale 87, 103 (Abb.), 108 (Abb.), s. a. Treibstoffkanäle
— -berechnung 141 f
— -energieverwertung in den USA 27 ff, 72 f, 92, 154
— -energieverwertung in den UdSSR 9, 72, 83, 154
— -energieverwertung in Deutschland 13, 15 f, 18, 20 ff, 29 ff, 33, 72 ff, 77 ff, 154 f
— -energieverwertung in Großbritannien 72 f, 78 f, 83, 153
— -feuer 86, 132
— -meßinstrumente 124 f
— -reaktion 84
— -reaktoren in den USA 40, 77, 89 f
— -spaltung 11, 16 ff, 34, 84 f, 99, 151
Kettenreaktion 19, 24 ff, 33 f, 86, 125, 132, 142, 151
Kobalt 109
Kohlenkraftwerk 78 f, 93, 129, 145 f
Kohlensäure 96 ff, 123, 134, s. a. Bremssubstanz, Kühlmittel
Kohlenstoff 88
Kondensatoren 110 f, 129, 131 (Abb.), 134
Kontrollstäbe 106, 120, 123, 131 (Abb.), 133 f, 142
Kontrollsystem s. Reaktorkontrolle
Krafterzeugung s. Energieerzeugung
kritische Größe s. Divergenz
Krypton 99
Kühlmethoden 88, 94 f, 102, 139, 148
Kühlmittel, Helium als 91 f
—, Kohlensäure als 91, 96 f, 105, 109, 126, 136, 139 ff, 144
—, Luft als 140
—, Natrium als 146
—, Wasser als 95, 146
—, Wasserstoff als 91
Kühltürme 129 f
Kupfer 137

Lade- und Entlademaschine 121, 131 (Abb.), 133 f
Leuna 36

Magnesium 101, 105, 138, 141
— -legierungen 101, 136, 145
Magnox 136 f
Masurium 19
Max-Planck-Gesellschaft 72
— -Institut 7, 72
Meilerschlaufe 140
Mesothorium 17
Messing 121
Methan 96
Militärregierung, Gesetze der 72
militärisches Programm (Großbritannien) 92, 149 f
Ministry of Supply (Großbritannien) 89
Moderator 87, 102, 132
—, Beryllium als 94 f
—, Graphit als 88, 94 ff, 131 (Abb.), 146
—, schweres Wasser als 94 f
—, Wasser als 146
Möglichkeitsstudie 111 f, 114, 135, 139, 150

Nachrichtendienst, ausländischer 23
Nagasaki 16
Nationales Verteidigungskomitee (USA) 29
Natrium, flüssig 147
— -uranat 25
‹Nature› (Zeitschrift) 18 f
Natururan-Reaktor s. Calder Hall, s. Reaktor, thermischer

‹Naturwissenschaften› (Zeitschrift) 17 f, 21, 23 f
Neptunium 38 f
Neutron, Neutronen 83 ff
—, Absorption 86, 132, 141 f, 147
—, Dichte 102, 132 f, 143
—, Produktion 19, 22, 25 ff, 40 ff, 84, 124
Neutronenfluß 124 f, 140
neutroninduzierte Kernumwandlung s. Brutreaktor
Nobelpreis 42, 67, 69
Norwegen 34 ff
‹Not fraternising› 47, 49 ff
‹Nucleonics› (Zeitschrift) 75

Oberkommando d. Heeres 28 ff
‹optimale Planung› 102 f

Paraffin 34, 41, s. a. Bremssubstanz
Paris, Inst. Joliot-Curie 17, 19, 35
Pariser Verträge 74
‹Physical Reviews› (Zeitschrift) 48
Physik. Institut Straßburg 42
— Staatsinstitut Hamburg 76
Physik.-Techn. Reichsanst. 20
Physiker, amerik. 18, 27, 30, 33 f
—, britische 33 f, 67, 90
—, deutsche 18, 22, 24 ff, 28, 30 f, 39, 42, 72
—, französische 17, 19, 35
—, in der russ. Besatzungszone 64
—, russische 58
—, schwedische 67
—, Wiener 25
PIPPA (Reaktor) s. Harwell
Plancksche Quantentheorie 9
Plutonium 32, 38 f, 79, 83, 85 f, 93, 103, 135, 146 ff, 151, 153
—, Erzeugung 89 ff, 93, 111 f, 115
Proton 83

Quantentheorie der chem. Bindung 68, 70
Quecksilber 137

Radium 51
—, chemische Reaktion des 17
— -therapie 32
Radioaktivitätsdetektor 122 f
Reaktor, flüssigkeitsgekühlt 37, 89 ff, 146, 150
—, gasgekühlt 89 f, 92 f, 101, 112, 140, 143, 145 f, 150, 154
—, luftgekühlt 91, 150
—, Reaktivität des 133 f, 142 f
—, schneller 87, 89, 93, 146 f, 154
—, thermischer 25, 87, 89, 92 ff, 147, 150, s. a. Harwell, BEPO
— -kern 88, 102, 120
— -kontrolle 88, 108 (Abb.), 110, 122 f, 130, 132, 134
— -periode 125, 133
Reichsforschungsrat 15, 28 ff, 40, 74
— -kriegsministerium 19 f
— -kultusministerium 11, 20
Reims 44 ff, 51
Rheotron 69
‹Riesenstock› s. Derrick-Kran
Rippenhülsen 90 ff, 100 f, 136 ff, 140 f, 144
Risley 89 ff, 112 f, 124, 135
Rjukan (Norwegen) 35 f

‹security restrictions› 65
Silberisotop 38
Smyth-Report 16, 33, 35
Souveränitätserklärung der Bundesrepublik 72 f, 77
Spaltpatrone 99
— -produkte 25, 114, 122, 141, 148
— -vorgänge s. Kernspaltung
Spannungsausgleich 119, 126
Sprengstoffe, Herstellung der 20

Schichtenanordnung 25 f, 29 ff, 40
Schichtzeichnung 120
Schiffbautechn. Ges. 73 ff
Schwedische Akademie d. Wiss. 67 ff
Schwefeldioxyd 96
Schweißvorgang 108 f, 118 f, 128, 139
schweres Wasser 23 ff, 27 f, 31 f, 35 f, 41 f, 49, s. a. Bremssubstanz, Moderator

Stahlpanzer 91, 95, 104, 116
‹Stars and Stripes› (Zeitschr.) 49
Steinkohle 151 ff
Stickstoff 96
Stoßdämpfer 134
Strahlenschild s. Betonpanzer
Studienges. f. Kernenergieverwertung in Schiffbau u. Schiffahrt 73 ff

Teamwork 13, 15
Techn. Hochschule Berlin 20
— Hannover 77
thermischer Schild 131 (Abb.), s. a. Stahlpanzer
Thomas-Fermi-Modell 65

Thorium 51, 147, 151 ff
— -isotop der Masse 232 85
Transformator 131 (Abb.)
Transuran 16 f, 65, 151
Treibstoffelement 83 ff, 90, 98, 108 (Abb.), 116, 121, 130 ff, 131 (Abb.)
—, fehlerhaftes 106, 110, 122, 125, 134
—, Herstellung des 90, 98 f, 111, 135 f, 138 f, 141, 146 ff
Treibstoffkanäle, horizontale 104, 106
—, vertikale 104, 106, 138, 141
Trennrohrverfahren (Clusius-Dickel) 37
Turbine 85 (Abb.), 105, 111, 115, 129 f, 131 (Abb.), 134, 145

Ultrazentrifuge 37
United Kingdom Atomic Energy Authority 89, 112, 148
Unterseeboot, atomgetriebenes 83, 92
Uran 23 ff, 28, 31, 34, 37, 51, 79, 85, 93, 95, 151 ff
—, feinkörniges 138
— -Hexafluorid 37 f
— -Isotop 233 85 f, 147 f, 151
— -Isotop 235 16, 24, 31 f, 34, 37 ff, 79, 85 f, 92 147, 151
— -Isotop 238 24, 26, 34, 39, 85, 103, 147
— -oxyd 25 ff
— -reserven, deutsche 26, 79
— -spaltung s. Kernspaltung
— -treibstoffelemente s. Treibstoffelement
— -treibstoffstäbe s. Treibstoffelement
— -vorkommen 151 f, 155
Uranylsulfat 147
‹Uranmaschine› 24, 30 ff
‹Uranverein› s. Physiker, deutsche
Uranverwertungsfragen, Komitee f. (USA) 16

Versuche an der Columbia-Universität 16, 28
— in Berlin 26 f, 40
— in Gottow 26, 40 ff
— in Haigerloch 41 f, 57, 61
— in Heidelberg 26 f
— in Leipzig 25 ff, 31, 40 f
— in Montreal 89
— in Stockholm 18

Wärmerate 101, 110, 144, 146
— -tauscher 104 f, 104 (Abb.), 108 (Abb.), 110, 115 f, 121 ff, 126 ff, 127 (Abb.), 131 (Abb.), 144
— -übertragung 88 f, 96, 101 f, 111, 128, 140 f, 144, 147
Ward-Leonard-System 126
Wasserkraft als Energiequelle 152, 154
Wasserreaktor, homogener 147
Wasserstoff 35, 88, 96, s. a. Kühlmittel
Wehrmacht und Kernforschung 10, 13, 20, 28 ff
Weißbuch der engl. Regierung 78 f, 145, 148, s. a. 10-Jahresplan für Kernenergie
Weltenergiebedarf 152
— -energieumsatz 152
Windscale, Reaktor in 92, 96, 101, 112, 114, 120, 132 f, 135
—, Plutoniumfabrik in 114 f
Wirkungsquerschnitt 24 f, 27 ff
Würfelanordnung 26 f, 40 f

Xenon 99

Zehn-Jahresplan für Kernenergie (Großbritannien) 145, 148 f, 153
‹Zeitschrift f. physik. Chemie› 18
ZEPHIR (Reaktor) s. Harwell
Zerfallsreihen, radioaktive 17 f
ZETR (Reaktor) s. Harwell
ZEUS (Reaktor) s. Harwell
Zirkon 99, 145
Zweifachdruckkreislauf 110, 115
Zyklotron 11

rde



ROWOHLTS DEUTSCHE ENZYKLOPÄDIE

DAS WISSEN DES 20. JAHRHUNDERTS IM TASCHENBUCH MIT ENZYKLOPÄDISCHEM STICHWORT

AUGUST THIENEMANN · Leben und Umwelt — Vom Gesamthaushalt der Natur (Nr. 22)

MARGRET BOVERI · Der Verrat im XX. Jahrhundert I — Für und gegen die Nation · Das sichtbare Geschehen (Nr. 23)

MARGRET BOVERI · Der Verrat im XX. Jahrhundert II — Für und gegen die Nation · Das unsichtbare Geschehen (Nr. 24)

HUGO FRIEDRICH · Die Struktur der modernen Lyrik — Von Baudelaire bis zur Gegenwart (Nr. 25)

JOSEPH BIDEZ · Kaiser Julian — Der Untergang der heidnischen Welt (Nr. 26)

ROMANO GUARDINI · Der Tod des Sokrates (Nr. 27)

ERWIN SCHRÖDINGER · Die Natur und die Griechen — Kosmos und Physik (Nr. 28)

FRITZ BAADE · Welternährungswirtschaft (Nr. 29)

J. A. C. BROWN · Psychologie der industriellen Leistung (Nr. 30)

MIRCEA ELIADE · Das Heilige und das Profane — Vom Wesen des Religiösen (Nr. 31)

HUGH NICOL · Der Mensch und die Mikroben (Nr. 32)

FRANZ JOSEF FURTWÄNGLER · Die Gewerkschaften (Nr. 34)

FRANZ ALTHEIM · Der unbesiegte Gott — Heidentum und Christentum (Nr. 35)

ERNESTO GRASSI · Kunst und Mythos (Nr. 36)

ARTHUR MARCH · Das neue Denken der modernen Physik (Nr. 37)

PETER R. HOFSTÄTTER · Gruppendynamik — Kritik der Massenpsychologie (Nr. 38)

ANDRÉ MALRAUX · Psychologie der Kunst I — Das imaginäre Museum (Nr. 39)

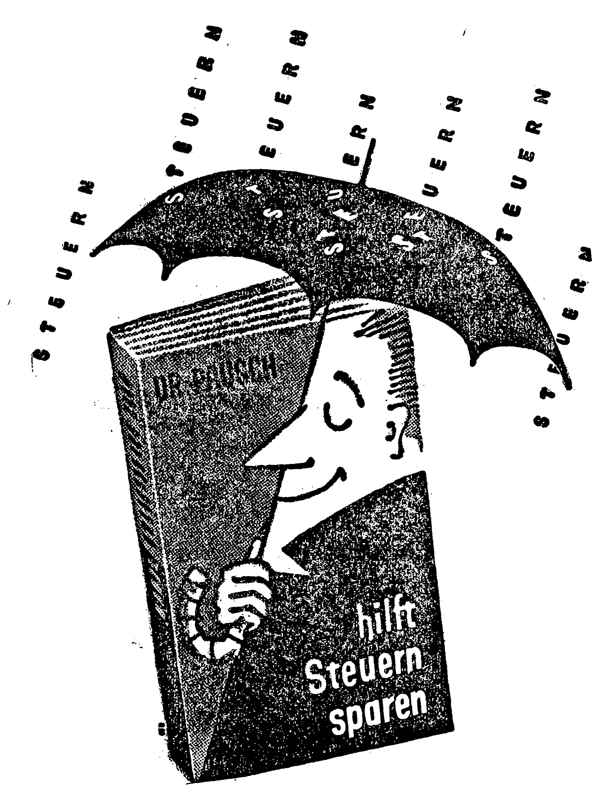
ERNST BENZ · Geist und Leben der Ostkirche (Nr. 40)

ALBERT DUCROCQ · Atomwissenschaft und Urgeschichte (Nr. 49)

IM MAI ERSCHEINEN

BAGGE - DIEBNER - JAY · Von der Uranspaltung bis Calder Hall (Nr. 41)

JOSÉ ORTEGA Y GASSET · Über die Jagd (Nr. 42)



Warum

wollen ausgerechnet Sie auf Einnahmen

verzichten,

die Ihnen nach dem Gesetz zustehen?

Oder finden Sie sich noch alleine in dem Gestrüpp der Steuergesetzgebung zurecht?

Oder haben Sie die Zeit, sich laufend über die zahlreichen neuen Steuerverordnungen zu unterrichten?

Oder kennen Sie wirklich alle Steuervorteile, die Ihnen zukommen?

Kaum! Wir haben deshalb erste Sachkenner gebeten, für Sie das

Titel der bei Methuen & Co. Ltd., London, erschienenen
englischen Originalausgabe:
‹Calder Hall. The Story of Britain's First Atomic Power Station›
Ins Deutsche übertragen von Kurt Hirsch
Umschlagentwurf Karl Gröning jr. / Gisela Pferdmenges
unter Verwendung eines Fotos: Ansicht von Calder Hall
(Foto: British Features)
Schriftgestaltung des Umschlages Werner Rebhuhn
Satz aus der Aldus-Linotype und der Palatino (D. Stempel AG.)
Gesamtherstellung Clausen & Bosse, Leck

rowohlts deutsche enzyklopädie

will im Rahmen einer Taschenbuchreihe jedem geistig Interessierten alle Gebiete der Wissenschaft durch ihre angesehensten Vertreter erschließen. In rascher Erscheinungsfolge wird sie über das jeweils Neueste an Forschung und Erkenntnis unterrichten. Sie strebt ein sinnvolles Gebäude menschlichen Denkens an und begnügt sich nicht mit der zufälligen Aneinanderreihung einzelner Essays. Ein ausführliches ‹Enzyklopädisches Stichwort› führt den Leser in den Problemkreis ein, dem das behandelte Thema entstammt. Jedem Band ist eine Biographie des Autors sowie ein Verzeichnis der einschlägigen Quellen- und Standardwerke zur selbständigen Weiterarbeit beigegeben. Alle Veröffentlichungen der Reihe enthalten Namen- und Sachregister, die nach einem gewissen Zeitraum zu einem besonderen Gesamtregisterband vereint werden, um das in den einzelnen Beiträgen vermittelte Wissen lexikalisch zusammenzufassen. Er wird den Abonnenten der Reihe zu einem Vorzugspreis zur Verfügung stehen.